UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ANÁLISE DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO BASEADA NA CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO

Bruna Marques Braga

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira
Coorientador: Profa. Ms. Beatriz Guzzo Duz

Rio Claro - SP

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

BRUNA MARQUES BRAGA

ANÁLISE DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO BASEADA NA CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

Rio Claro -SP

2023

B813a

Braga, Bruna Marques
Análise da aptidão à urbanização baseada na carta geotécnica do município de Rio Claro / Bruna Marques Braga. -- Rio Claro, 2023
53 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: César Augusto Moreira
Coorientadora: Beatriz Guzzo Duz

1. Geoprocessamento. 2. Lógica difusa. 3. Urbanização. 4. Carta geotécnica. 5. Risco geológico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BRUNA MARQUES BRAGA

ANÁLISE DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO BASEADA NA CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

Comissão Examinadora

. Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

. Profa. Dra. Beatriz Guzzo Duz

. Geóloga Luiza Lima Alves

. Engenheira Ambiental Leticia Santos de Alencar

Rio Claro, 01 de dezembro de 2023.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus por estar ao meu lado desde o dia que tomei a decisão de seguir está profissão. Agradeço aos meus pais Júlio e Mary por estarem sempre me apoiando, torcendo e aconselhando durante todo este processo. Ao meu namorado André que esteve sempre do meu lado nos dias felizes e tristes, sua companhia deixou todos esses anos mais fáceis e floridos.

Agradeço a todos meus amigos que fiz durante a minha graduação, especialmente a Eduara e Mariana, que tornaram todas as fases mais tranquilas e divertidas. Também agradeço as amizades que já possuía, Julia, Milena, Marina, Catherine e Bianca, por estarem sempre ao meu lado apesar de toda a distância.

Agradeço a todos os professores que guiaram a minha trajetória e me fizeram ser quem eu sou hoje, principalmente a Ms. Beatriz Guzzo Duz por todo suporte e orientação deste trabalho e ao Prof. Dr. César Augusto Moreira por ter aceitado me orientar neste trabalho acadêmico tão importante.

Agradeço a Unesp de Rio Claro por se tornar um segundo lar, um local no qual tive experiências maravilhosas, contatos com diversas pessoas diferentes a mim e grandes aprendizados.

Sou muito grata por ter a oportunidade de ter vivido toda essa experiência que guardarei para sempre no meu coração. Obrigada!

”Bom, às vezes a vida é dura, mas eu tenho muita coisa para agradecer”

(A Cabana)

RESUMO

Ao seguir a tendência mundial das últimas décadas, o crescimento da população urbana foi caracterizado como um aspecto marcante em grande parte dos municípios brasileiros. Diante desse crescimento populacional exponencial, a busca por espaço nas cidades ocorreu de maneira desordenada e acarretou o aumento do número de moradias em locais inapropriados e, consequentemente maior exposição da população a riscos. Um instrumento com grande potencial de uso no planejamento territorial é a carta geotécnica de aptidão à urbanização, elaborada a partir de ferramentas de geoprocessamento e trabalhos de campo. Este estudo utilizou a Lógica *Fuzzy* para análise combinada de dados geológicos, pedológicos, geomorfológicos, de declividade, de drenagem e de uso e ocupação do solo para elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de Rio Claro, interior do estado de São Paulo. Foram identificadas três classes geotécnicas, separadas em áreas inaptas para ocupação, área com restrição ao uso do solo e áreas aptas para o processo de urbanização. Através de visitas *in situ* de áreas predeterminadas foi possível a descrição e verificação de locais recorrentes nas três classes descritas. Os resultados poderão ser úteis para elaboração ou revisão do plano diretor municipal, como para projetos de expansão urbana, com a finalidade de prevenir e mitigar o risco de desastres.

Palavras-chave: geoprocessamento; lógica *fuzzy*; carta geotécnica; urbanização; risco geológico

ABSTRACT

To follow the worldwide trend of the last decades, the growth of the urban population has been characterized as a striking aspect in a large part of Brazilian municipalities. Faced with this exponential population growth, the search for space in cities has occurred in an unorganized manner and has led to an increase in the number of dwellings in inappropriate locations, consequently exposing the population to greater risks. An instrument with great potential for use in territorial planning is the geotechnical suitability map for urbanization, developed using geoprocessing tools and fieldwork. This study used Fuzzy logic for the combined analysis of geological, pedological, geomorphological, slope, drainage, and land use data to create a geotechnical suitability map for urbanization in the municipality of Rio Claro, in the interior of the state of São Paulo. Three geotechnical classes were identified, divided into areas unsuitable for occupation, areas with restrictions on land use, and areas suitable for the urbanization process. Through *in situ* visits to predetermined areas, it was possible to describe and verify locations that were recurrent in the three classes described. The results could be useful for the development or revision of the municipal master plan, as well as for urban expansion projects, with the aim of preventing and mitigating the risk of disasters.

Keywords: Geoprocessing; fuzzy logic; geotechnical map; urbanization; geological risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo da Lógica Fuzzy quando comparada à Lógica Booleana 16
Figura 2 - Localização da área de estudo 17
Figura 3 - Mapa geológico do município de Rio Claro 18
Figura 4 - Mapa pedológico do município de Rio Claro 20
Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do município de Rio Claro 22
Figura 6 - Mapa de declividade do município de Rio Claro 25
Figura 7 - Mapa da drenagem do município de Rio Claro 27
Figura 8 - Mapa das nascentes do município de Rio Claro com o perímetro urbano 28
Figura 9 - Fluxograma das principais etapas do trabalho 30
Figura 10 - Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Rio Claro - SP 35
Figura 11 – Mapa de Localização dos locais de visita em campo 36
Figura 12 - Empreendimentos residenciais novos no bairro do Sobradão 39
Figura 13 – Novo loteamento Recanto das Flores 40
Figura 14 – Área de várzea no bairro Jardim Bela Vista 41
Figura 15 – Placa de alagamento na Av. Pres. Tancredo de Almeida Neves 42
Figura 16 – Novo loteamento fechado próximo à Rodovia Fausto Santo Mauro 43
Figura 17 – Mapa de Aptidão à Urbanização do município de Rio Claro - SP com a expansão urbana 44
Figura 18 – Área de expansão urbana com foco industrial na Av. Brasil 46
Figura 19 – Área de várzea na Estr. Mun. Do Sobradão 47
Figura 20 – Bairro Novo Jardim Wenzel 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos utilizados na Lógica Fuzzy.....32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
1.1. Objetivos 13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1 Carta geotécnica de aptidão à urbanização 14
2.2 Geoprocessamento e Lógica *Fuzzy* 14
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 17
3.1 Localização 17
3.2 Geologia 18
3.2.1 Depósitos Aluvionares 18
3.2.2 Formação Rio Claro 19
3.2.3 Formação Serra Geral 19
3.3 Pedologia 19
3.3.1 Argissolos 20
3.3.2 Latossolos 20
3.3.3 Neossolos 21
3.4 Uso e ocupação do solo 21
3.4.1 Agricultura 23
3.4.2 Área urbana 23
3.4.3 Mata nativa e áreas de reflorestamento 23
3.4.4 Pastagem 24
3.4.5 Solo exposto 24
3.5 Geomorfologia 24
3.5.1 Plano 25
3.5.2 Suave ondulado 25
3.5.3 Ondulado 25
3.5.4 Forte ondulado 26
3.5.5 Montanhoso 26
3.5.6 Escarpado 26
3.6 Hidrografia 26
4. MATERIAIS E MÉTODOS 30
4.1 Revisão bibliográfica e levantamento de dados 30
4.2 Elaboração dos mapas temáticos 31
4.3 Aplicação da Lógica *Fuzzy* e caracterização das classes aptidão à urbanização 31
4.4 Atividade de campo 33
4.5 Integração dos resultados 33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana está diretamente correlacionada com as taxas de aumento populacional e aos movimentos migratórios, resultando em concentrações significativas de pessoas nos centros urbanos e, por consequência, os danos ambientais devido à ausência de um planejamento efetivo por parte das autoridades governamentais. Muitas cidades carecem de um planejamento apropriado por meio de um Plano Diretor, e a sua ausência leva à ocupação de áreas de risco e danos ambientais (JOHANN & LINDINO, 2018)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), o estudo “Áreas Urbanizadas do Brasil 2019”, obtido através de interpretações visuais de imagens de satélite, mostrou que o Brasil no ano de 2019 possuía 0,54% da área total do país como áreas urbanizadas e mais de um terço destas áreas estavam concentradas na região Sudeste. O estado de São Paulo apresentou 18,39% do total das áreas urbanizadas e loteamento vazios de todo território nacional.

Conforme Rossetti (2007), a expansão urbana é um processo de significado espacial com dimensão temporal. Este ato acontece quando as cidades precisam de novos espaços devido ao crescimento populacional, ou pela deterioração do território de funções residenciais e serviços, ou pela reestruturação das áreas centrais da cidade e a fusão de novas áreas, além do perímetro atual.

Os desafios enfrentados no processo de expansão urbana, motivaram o desenvolvimento de abordagens destinadas a compreender as características do ambiente físico e a distribuição geográfica do terreno, assim como suas propriedades. Essas abordagens fornecem informações importantes para a avaliação das capacidades e restrições das áreas com relação à sua utilização e ocupação dentro do contexto urbano (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Um dos métodos proeminentes no planejamento urbano é a cartografia geotécnica, que ganhou destaque como uma ferramenta crucial no planejamento urbano. Ela desempenha um papel fundamental em diversas áreas, incluindo a análise de zonas de risco para a ocupação humana, a prevenção de desastres naturais, a avaliação da adequação de terrenos para a construção de obras civis e o suporte na elaboração de planos diretores municipais (ZUQUETTE *et al*., 2004).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, estabelecida pela Lei Federal Nº 12.608 de 10 abril de 2012, estabelece diretrizes amplas voltadas para gestão e redução dos riscos de desastres naturais no país, envolvendo esforços da União, Estados e Municípios, com ênfase nas ações preventivas. Uma destas ações é a elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização, que utiliza a suscetibilidade ambiental a processos físicos que possam demonstrar ameaças à população em áreas com potencial de expansão urbana (UFSC, 20--). Essas cartas constituem instrumento fundamental para a adequação dos planos diretores dos municípios mais suscetíveis às adversidades hidrometeorológicas no país, a fim de evitar a formação de novas áreas de risco, a partir do planejamento urbano de acordo com a aptidão física dos terrenos à urbanização (UFSC, 20--).

De acordo com o Artigo 27 da Lei Federal 12.608/2012, a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano deve considerar os requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização e orientam de forma equilibrada as condições de suporte do meio físico, com a finalidade de evitar os riscos e as consequências de desastres (DINIZ & FREITAS, 2013).

No parágrafo 76 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), é declarada à necessidade de construir territórios mais articulados, integrados e coesos, por meio da elaboração e execução de planos, políticas e instrumentos de gestão territorial e urbana, concebidos de forma participativa, com uma visão centrada na população, no âmbito dos direitos humanos e com a perspectiva de gênero e um enfoque de sustentabilidade e gestão de riscos ambientais.

O planejamento territorial integral, portanto, requer o subsídio de mapeamentos que sintetizem o conhecimento sobre o meio físico, suas formas, materiais e processos, os aspectos físico-naturais dos espaços ocupados e daqueles ainda não ocupados, mecanismos que regem as relações socionaturais, integrando-os aos aspectos urbanos, da infraestrutura e da produção para traçar um quadro efetivo das disfunções dos ambientes urbanos e periurbanos e de suas vulnerabilidades (NOGUEIRA et al., 2020). O principal objetivo da redução do risco é a diminuição das fragilidades socioeconômicas, suscetibilidades e exposição da população, definindo níveis aceitáveis de risco (NOGUEIRA et al., 2020).

A Lógica *Fuzzy* é um método matemático que pode ser aplicado como ferramenta de geoprocessamento para fins cartográficos quando se necessita realizar a análise integrada de diversos temas. Portanto, através desta lógica pode-se obter a carta geotécnica de aptidão à urbanização (PEREIRA et al., 2022). Diversos estudos apresentam a utilização da Lógica *Fuzzy* como metodologia para obtenção de mapas e cartas geotécnicas como apresentado nos trabalhos de Pereira (2020), Rossetti (2007) e Ruhoff *et al.* (2005).

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização do município de Rio Claro, localizado na Região Metropolitana de Piracicaba, estado de São Paulo, a partir da aplicação da Lógica *Fuzzy* na junção de mapas temáticos.

1.1. Objetivos

Este estudo tem como objetivo a obtenção e interpretação das zonas de aptidão à urbanização do município de Rio Claro, estado de São Paulo, a partir da elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização pela Lógica *Fuzzy*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Carta geotécnica de aptidão à urbanização

As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização instituem documentos cartográficos que retratam a capacidade dos terrenos em sustentar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo de modo a gerar o mínimo impacto ambiental possível e um maior nível de segurança para a população (OLIVEIRA FILHO et al., 2022). Desta forma, esta ferramenta pode oferecer diretrizes gerais para o uso e ocupação de áreas urbanas, bem como servir como base para outros instrumentos de gestão territorial, incluindo regulamentações de zoneamento e planos diretores, que abordam aspectos mais específicos (SOBREIRA & SOUZA, 2012).

Essas cartas devem ser consideradas como um componente essencial de uma abordagem abrangente que envolve análises dos aspectos físico-ambientais, jurídico-legais e socioeconômico-organizativos das áreas designadas para a expansão urbana. Para atingir os objetivos principais, é crucial realizar análises detalhadas, muitas vezes apoiadas por dados quantitativos sempre que possível ou necessário (PEREIRA, 2020)

Sobreira & Souza (2012) ressaltam que, numa análise em escala de projeto, do ponto de vista cartográfico, nem toda área classificada como adequada para ocupação está livre de dificuldades geotécnicas. Da mesma forma, nem toda a extensão de uma área que é considerada inadequada, em termos de suscetibilidade natural a processos geodinâmicos, representa necessariamente situações críticas ou potencialmente arriscadas.

Para garantir que a expansão urbana ocorra de forma organizada e segura, é fundamental o conhecimento das características do ambiente físico a ser ocupado. A utilização de informações fundamentais, dados geológicos e geotécnicos, destinados à caracterização do ambiente físico, juntamente com a compreensão das relações entre a ocupação desordenada do solo e os riscos associados, tornam-se essenciais para orientar as ações de planejamento e administração pública (FILHO & SOBREIRA, 2015).

2.2 Geoprocessamento e Lógica *Fuzzy*

O uso crescente do geoprocessamento influência em diversas áreas, como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e

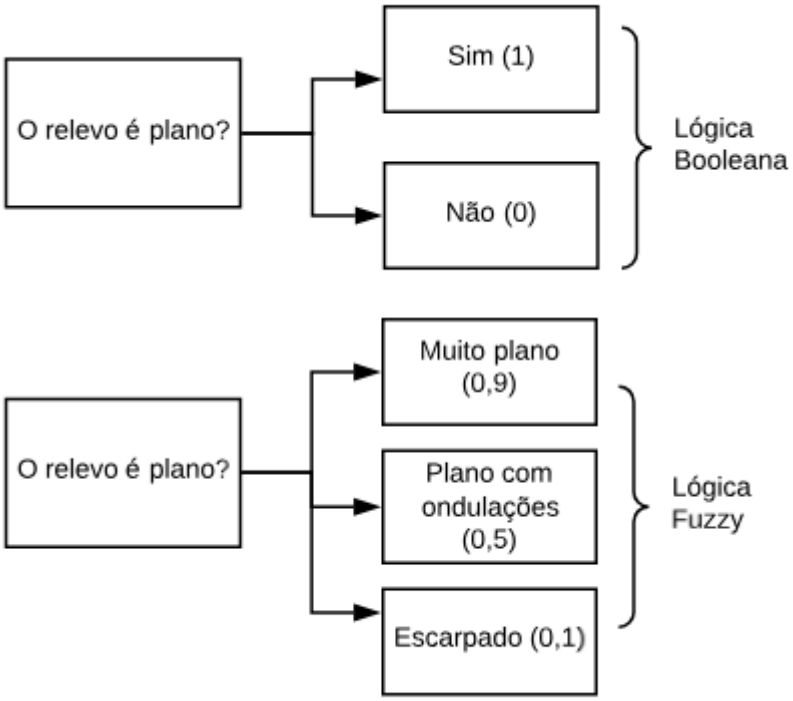
planejamento urbano e regional. Especificamente nos estudos ambientais, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm desempenhado um papel fundamental em atividades como a criação de mapas temáticos, a realização de diagnósticos ambientais, a avaliação de impacto ambiental e o ordenamento territorial (PEREIRA, 2020).

O principal propósito de um SIG é realizar análises ao combinar dados georreferenciados de várias fontes, incluindo mapas analógicos e digitais, informações de sensoriamento remoto, dados censitários, dados coletados em campo, entre outros. Através do processo de georreferenciamento e registro desses dados, é possível obter uma variedade de informações ao sobrepor mapas temáticos, modelos digitais de terreno e imagens de sensoriamento remoto. Além disso, um SIG permite realizar consultas, armazenar, manipular e integrar dados de forma eficaz (ROSSETTI, 2007)

Diversos estudos têm empregado geotecnologias e o princípio *Fuzzy* na condução de análises espaciais associadas a eventos de desastres e em diversas outras aplicações. Isso confirma a sua posição como um campo de pesquisa em constante desenvolvimento, onde esses conceitos são cada vez mais empregados para apoiar o planejamento, análises e ações em diversas áreas de conhecimento (SILVA, 2006).

A Lógica *Fuzzy*, ao contrário da lógica booleana, é uma técnica de análise espacial que aborda situações em que os atributos espaciais não são precisos, tal como observado nas feições da superfície da Terra, que possuem limites imprecisos e gradativos (Figura 1). Neste sentido, são propostos limites bem definidos, representados numericamente em diferentes intervalos (entre 0 e 1), cada localização em uma célula de determinada classe de atributos. Na Lógica *Fuzzy* define-se quão provável a ocorrência de um fenômeno com base em uma classe ou um conjunto de classes. O principal valor do conceito *Fuzzy* é o reconhecimento e mensuração de incerteza na classificação de *pixels* (EVANS, 2012).

Figura 1 - Exemplo da Lógica *Fuzzy* quando comparada à Lógica Booleana



Fonte: elaborada pela autora

De acordo com Silva (2005), os três principais aspectos da teoria *Fuzzy* são o uso de variáveis linguísticas no lugar ou em adição de variáveis numéricas, caracterização das relações complexas por algoritmos *Fuzzy*, e a caracterização das relações simples entre variáveis por expressões condicionadas

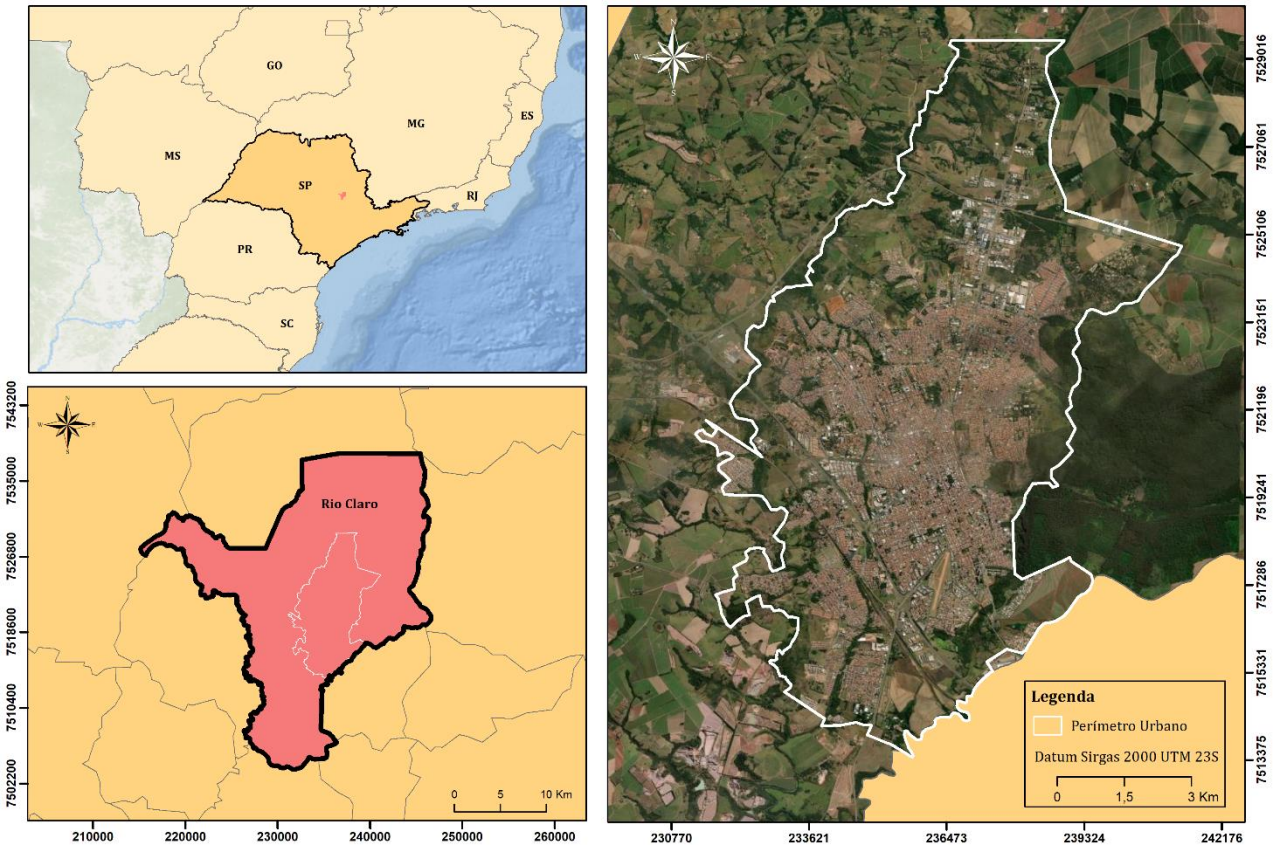
Portanto, os modelos que se fundamentam na lógica *Fuzzy* oferecem maior flexibilidade na combinação de mapas com diferentes pesos e podem ser incorporados ao SIG através de uma linguagem específica (ESCADA, 1998).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

O município de Rio Claro, definido como área de estudo, está localizado na porção centro-leste do interior do estado de São Paulo. Situado em um terreno predominantemente plano, com uma altitude média de 613 metros acima do nível do mar, entre as coordenadas 7.502.200,0 m S e 7.543.200,0 m S e entre as longitudes 210.000,0 m E a 250.000,0 m E (Datum SIRGAS 2000 UTM 23S).

Figura 2 - Localização da área de estudo



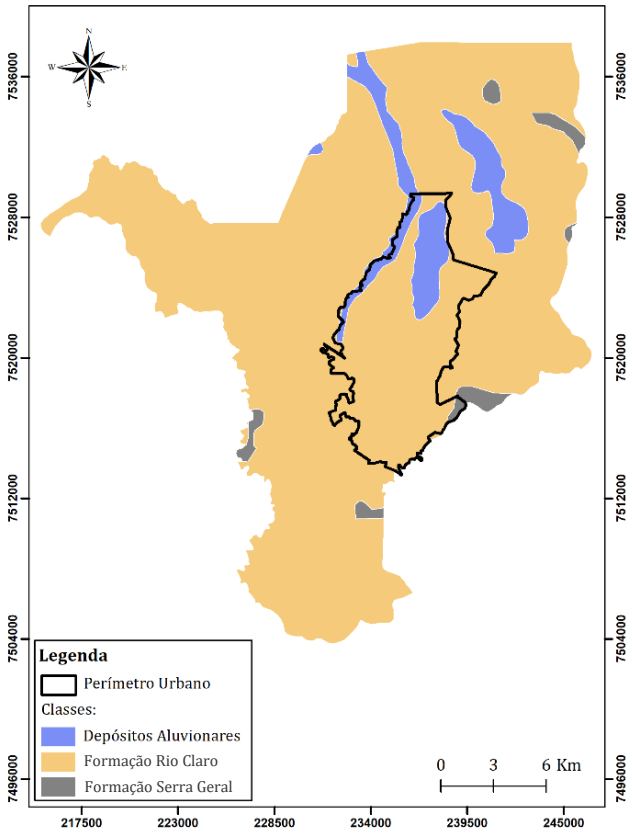
Fonte: elaborada pela autora, baseado em dados do IBGE

Com uma população de cerca de 201.418 habitantes, conforme o censo 2022 do IBGE, o município de Rio Claro, está distante 173 km da capital paulista, com acessos através das rodovias Bandeirantes, Anhanguera e a Washington Luiz, esta última considerada uma das principais rodovias do Estado de São Paulo na ligação norte-sul do seu território. Rio Claro encontra-se a 240 km do porto de Santos, a 85 km do Aeroporto Internacional de Viracopos e a 200 km do Aeroporto Internacional de Guarulhos, na Região Metropolitana de São Paulo.

3.2 Geologia

O Mapa Geológico do município de Rio Claro (Figura 3) indica a predominância de três principais unidades geológicas, Depósitos Aluvionares Holocênicos, Formação Rio Claro e Formação Serra Geral, descritas a seguir.

Figura 3 - Mapa geológico do município de Rio Claro



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

3.2.1 Depósitos Aluvionares

Segundo Guerra & Guerra (2003), os Depósitos Aluvionares são sedimentos ou detritos transportados e depositados por rios. Esse material é removido das margens e vertentes, deslocando-se em suspensão pelas águas dos rios que se depositam e se acumulam em bancos, principalmente formados por areia, argila e cascalhos. Trata-se de uma unidade geológica que necessita de maior detalhamento na investigação de subsuperfície, principalmente no desenvolvimento urbano, uma vez que está associada a áreas de várzea, com baixa resistência mecânica que pode desencadear o colapso dos solos diante do acréscimo de tensão em superfície (GUSMÃO FILHO, 2002).

3.2.2 Formação Rio Claro

De acordo com Periotto e Zaine (1996), após um longo período de transformações significativas (tectonismo e erosões) durante o Cenozoico, ocorreu a deposição da Formação Rio Claro. Esta unidade se deposita em discordância sobre diferentes unidades estratigráficas, dependendo do grau de erosão do topo destas unidades. Na área urbana de Rio Claro, esta formação forma extensos planaltos cobrindo a Formação Corumbataí. Regionalmente, ocorre sobre as formações Corumbataí, Irati e Tatuí (na região rural de Rio Claro e em municípios vizinhos, principalmente Ipeúna e Charqueada). É composta principalmente por arenitos pouco selecionados, de tonalidade amarelo-avermelhada, friáveis, às vezes com estratificações cruzadas e camadas conglomeráticas. Na base da unidade, é comum encontrar uma grande quantidade de seixos, principalmente de quartzo e quartzito. As características desta unidade sugerem que tenha sido depositada em condições continentais, predominantemente fluviais (ocasionalmente com pequenos lagos), em clima semiárido. Um aspecto notável é a presença de várias lagoas atualmente desenvolvidas sobre seus depósitos, além de extensas ravinas. As areias da Formação Rio Claro são amplamente utilizadas na construção civil, na indústria de vidro e na fabricação de moldes de fundição, com explorações significativas, como a de Ajapi, por exemplo. Também é comum a exploração de água subterrânea nesta formação (Perinotto & Zaine, 1996).

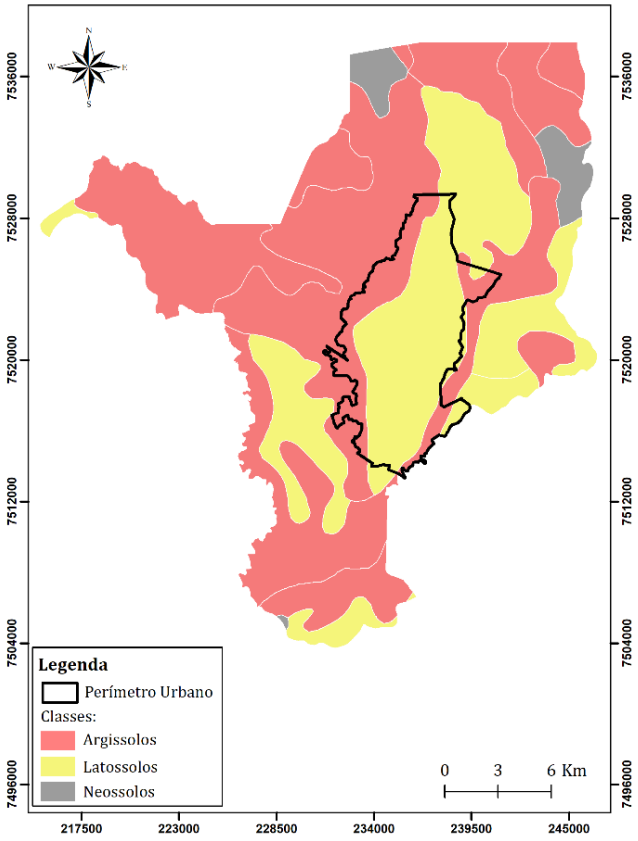
3.2.3 Formação Serra Geral

Com uma extensão de mais de um milhão de quilômetros quadrados na Bacia do Paraná, a Formação Serra Geral é caracterizada pela presença de rochas magmáticas, as quais se originaram devido às atividades vulcânicas de derrames e intrusões (MILANI, 2005). Constituída por uma sequência de derrames de basalto e arenitos intertrapeanos entre os períodos Jurássico e Cretáceo (CORDANI; VANDOROS, 1967).

3.3 Pedologia

O Mapa Pedológico do município de Rio Claro (Figura 4) indica a predominância de três principais tipos de solo, argissolo, neossolo e latossolo, descritos a seguir.

Figura 4 - Mapa pedológico do município de Rio Claro



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

3.3.1 Argissolos

São solos com maior concentração de argila em subsuperfície em comparação aos horizontes superficiais, nos quais definem seu gradiente textural ao longo do perfil. A coloração desses solos varia de tons acinzentados a avermelhados, sendo que os matizes amarelos e vermelhos são os mais frequentes (EMBRAPA, 2018).

Representam 24% da superfície total do país e ocupam a segunda posição em termos de extensão geográfica. São encontrados em praticamente todas as regiões do Brasil, abrangendo diversas condições climáticas e de relevo (EMBRAPA, 2018).

3.3.2 Latossolos

De acordo com a Embrapa (2018), são solos altamente desenvolvidos, intemperizados e não apresentam um acúmulo de argila em camadas profundas. Suas cores variam de brunadas, avermelhadas ou amareladas, sendo as últimas de maior domínio. Quanto à textura, ela pode variar de média a bastante argilosa.

Característicos das regiões equatoriais e tropicais, esses solos são encontrados em antigas superfícies de erosão, sedimentos e terraços fluviais antigos, associados a um relevo levemente ondulado e plano. São os solos mais presentes no Brasil, ocupando aproximadamente 39% da área total do país (EMBRAPA, 2018).

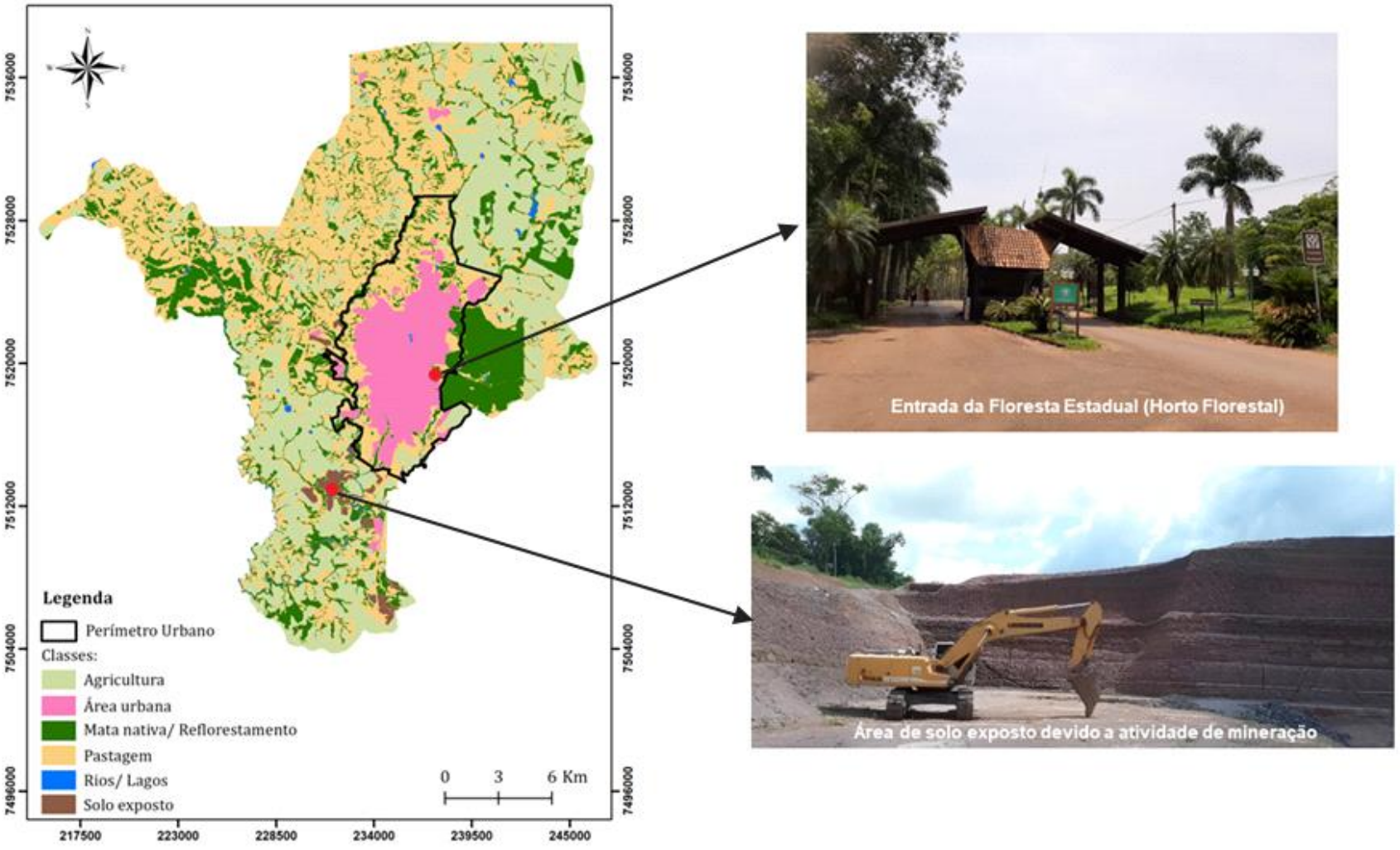
3.3.3 Neossolos

Conforme a Embrapa (2018), esses solos são considerados pouco desenvolvidos em termos de processos pedogenéticos e não apresentam horizontes diagnósticos subsuperficiais, em razão da reduzida atuação dos processos de pedogenéticos ou ação dos fatores de formação. São solos jovens, compostos por materiais minerais ou orgânicos com menos de 20 cm de espessura. Suas características primárias são predominantemente herdadas do material original, resultando em uma grande variabilidade entre as diferentes subordens. Podem ser encontrados em aproximadamente 15% do território brasileiro.

3.4 Uso e ocupação do solo

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Rio Claro (Figura 5) representa as principais unidades de uso e ocupação da área de estudo, as quais estão descritas a seguir.

Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do município de Rio Claro



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

3.4.1 Agricultura

Em um primeiro momento, Rio Claro conquistou a posição de terceira cidade mais influente economicamente na província de São Paulo devido ao cultivo do café, motivo para implementação de notáveis avanços no município (TROPPMAIR, 2008).

Atualmente, no município, de acordo com a tabela de área cultivada do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo (LUPA), da Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento, realizado entre os anos de 2016 e 2017, a produção agrícola possui o predomínio de grandes latifúndios de cana-de-açúcar, retratando aproximadamente 45% da área de plantação.

3.4.2 Área urbana

Segundo Fornazieiro (2020), até 1920, a população de Rio Claro apresentou um crescimento significativo devido à economia da era do café, entretanto, a partir de 1970, com uma nova fase de industrialização e abertura econômica brasileira, houve um impacto a nível local, resultando em uma nova dinâmica econômica do município devido a uma atração considerável de número de indústrias. Como resultado, houve um aumento da população, de perfil predominantemente urbano.

De acordo com o último censo demográfico do IBGE (2022), o município de Rio Claro apresentou uma população de 201.418 habitantes e uma densidade demográfica de 404,11 habitantes/km². O município possui um grau de urbanização de 97,9%, ou seja, uma população predominantemente urbana (SEADE, 2023).

3.4.3 Mata nativa e áreas de reflorestamento

A vegetação arbórea no perímetro urbano de Rio Claro, é predominante na área central e em seu entorno próximo, enquanto nas áreas mais periféricas é quase inexistente. De acordo com a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) (1996), são recomendados 15 m² de área verde por habitante, porém o município apresenta um índice de 2,69 m²/habitante por apresentar apenas 0,6 km² de área verde somado de praças parques e jardins (FORNAZIEIRO, 2020).

Segundo os dados do LUPA realizados entre os anos de 2016 e 2017, as áreas de reflorestamento de eucalipto possuíram destaque na área cultivada do município de Rio Claro, correspondendo a quase 12%.

No município, destaca-se a presença da Floresta Estadual Edmundo Navarro

de Andrade (FEENA), anteriormente denominada como Horto Florestal Edmundo Navarro de Andrade, criado em 1909 pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro com o propósito de atender a necessidade de madeira para dormentes e carvão para manutenção e construção de ferrovias. Seu nome presta homenagem ao agrônomo Edmundo Navarro de Andrade que, em 1914, trouxe da Austrália 144 espécies de eucalipto, tornando o Horto o local com maior variedade de espécie de eucalipto do Brasil (IBGE, 19--).

3.4.4 Pastagem

A pecuária ocupa uma extensão de 38,8% do município de Rio Claro, frequentemente sendo conduzida de maneira extrativista, em pastagens, com o uso limitado de alimentos suplementares, predominantemente baseados em gramíneas. Desta forma, é considerada a principal ocupação econômica identificada no uso e ocupação do solo em Rio Claro (RIO CLARO, 2014).

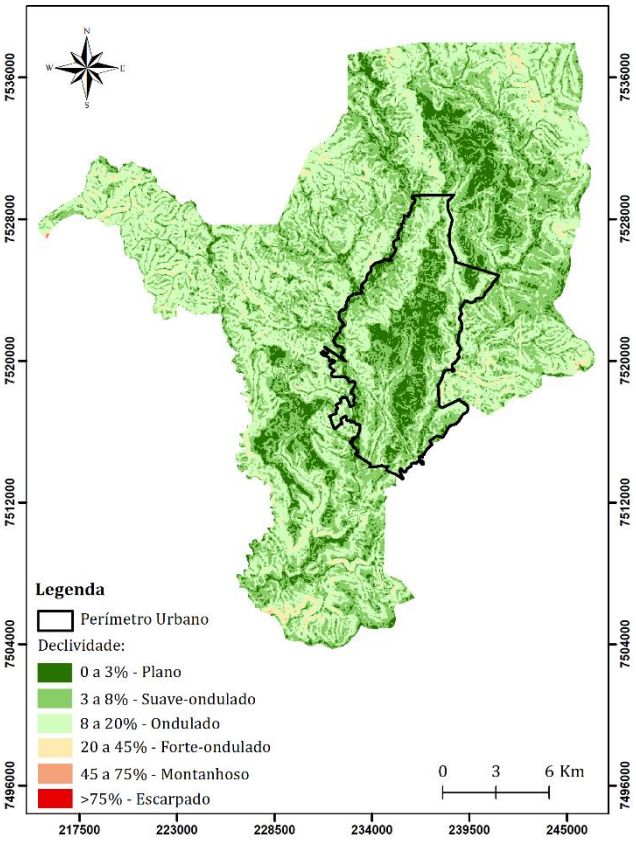
3.4.5 Solo exposto

De acordo com o trabalho realizado por Rio Claro (2014), a parcela de solo exposto abrange 1,2% da extensão total do município de Rio Claro e compreende áreas destinadas às atividades mineradoras, cerâmicas e aterros sanitários. Em relação à degradação ambiental, esse problema é de grande relevância, uma vez que a remoção da vegetação resulta em sérios impactos ambientais: poluição visual e da água subterrânea, erosão e o iminente arraste de partículas de solo para os rios, causando assoreamento e a diminuição do nível do lençol freático, entre outros.

3.5 Geomorfologia

O município está localizado na unidade geomorfológica da média depressão periférica paulista e ocupa a área entre os rios Corumbataí e ribeirão Claro, com uma altitude média de aproximadamente 600 metros. Em termos gerais, a topografia é predominantemente plana, especialmente na área urbana (CHRISTOFOLETTI *et al*., 2005). Com base na classificação proposta pela Embrapa (1979), o relevo do município de Rio Claro foi dividido em seis classes presentes na Figura 6 e descritas a seguir.

Figura 6 - Mapa de declividade do município de Rio Claro



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

3.5.1 Plano

Superfícies que apresentem uma declividade entre 0 a 3%, topografia plana, onde as variações de elevações são muito pequenas.

3.5.2 Suave ondulado

Áreas que possuem uma declividade entre 3 a 8%, com uma topografia composta por colinas e/ou outeiros (variação de altitude de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves.

3.5.3 Ondulado

Extensão com uma declividade entre 8 a 20%, topografia pouco movimentada composta por conjunto de colinas e/ou outeiros, com significativa ocorrência de áreas com declives.

3.5.4 Forte ondulado

Apresentam uma predominância de declividade entre 20 a 45%, topografia movimentada composta por outeiros e/ou morros, com elevações relativas, variando de 100 a 200 metros.

3.5.5 Montanhoso

Territórios que apresentem uma declividade acentuada entre 45 a 75%, com predominância de formas acidentadas, geralmente composta por morros, montanhas, maciços montanhosos e cadeias montanhosas.

3.5.6 Escarpado

Superfícies com declividades muito acentuadas acima de 75%, topografia de formas abruptas, incluindo escarpamentos como: aparados, itaimbés, frentes de cuestas, falésias, vertentes com declividade muito elevada de vales encaixados, etc.

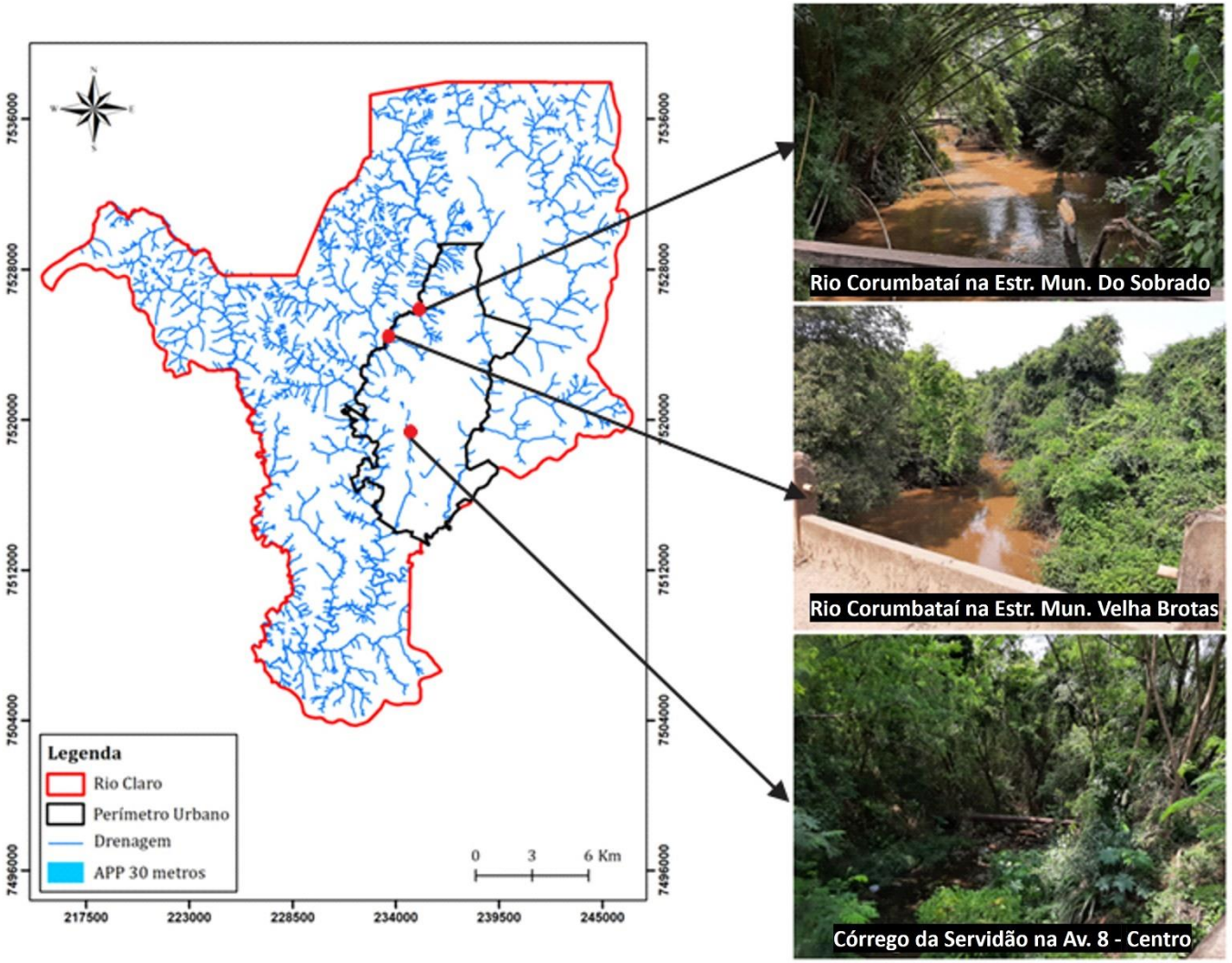
3.6 Hidrografia

Através dos dados hidrológicos disponibilizados pela SEMADS (Secretária Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) com dados do IBGE, foram determinadas as redes de drenagem e nascentes da área de estudo, as quais estão descritas a seguir e presentes nas Figuras 7 e 8.

Os rios bifilares, os lagos e tanques da área e estão localizados com maior predominância na região sul, oeste e nordeste do município e representam quase 1% da área (RIO CLARO, 2014).

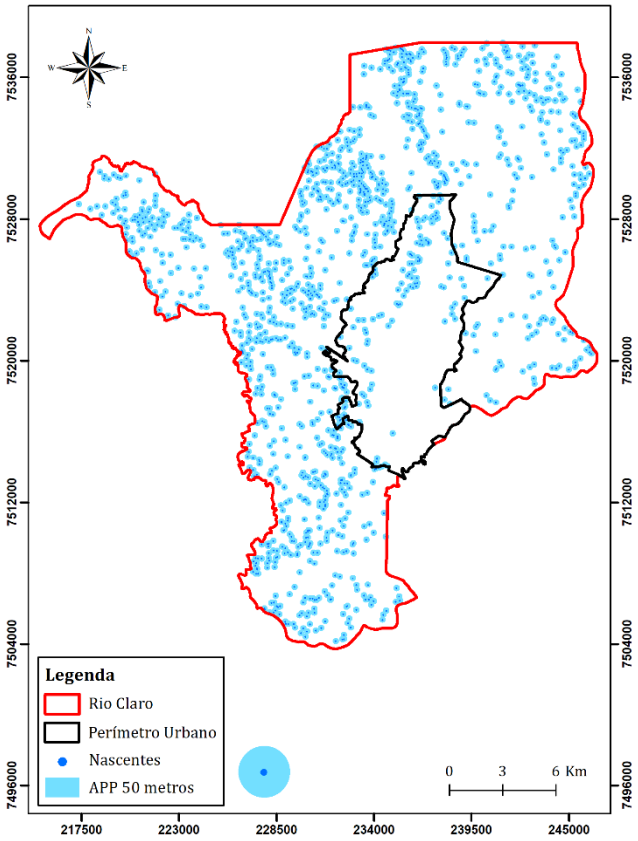
De acordo com Cunha, Moruzzi e Braga (2010), a dinâmica hídrica urbana é afetada pela canalização de córregos afluentes do ribeirão Claro, como o Lavapés sob a Avenida Ulisses Guimarães, e afluentes do rio Corumbataí, como o córrego da Servidão sob a Avenida Visconde do Rio Claro. Historicamente, essas avenidas são conhecidas por serem suscetíveis a inundações e passaram por diversas intervenções de drenagem urbana, tanto de pequena quanto de grande escala, com o objetivo de mitigar os impactos das chuvas.

Figura 7 - Mapa da drenagem do município de Rio Claro



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

Figura 8 - Mapa das nascentes do município de Rio Claro com o perímetro urbano



Fonte: elaborado pela autora, baseado em dados FEHIDRO (2014)

Embora o interflúvio seja quase plano, ele apresenta uma diferença de altitude de 30 a 40 metros entre o ponto mais alto e o mais baixo, que estão consideravelmente distantes um do outro. Isso resulta principalmente em suaves ondulações e pequenas variações de elevação, originárias de depressões fechadas e das encostas dos córregos Lavapés e Servidão. A ação desses pequenos córregos tem esculpido o interflúvio e, devido à natureza das rochas e aos efeitos da atividade humana, há uma tendência ao escoamento linear, resultando no aprofundamento de ravinas e voçorocas. Esses fenômenos são mais frequentemente observados nas bordas do interflúvio. (PENTEADO, 1981).

De acordo com a Lei 12.651 de 2012 (novo Código Florestal brasileiro), a Área de Preservação Permanente (APP) é uma área protegida com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a estabilidade geológica, a paisagem e a biodiversidade. As faixas de APP de qualquer curso d'água possuem largura mínima de:

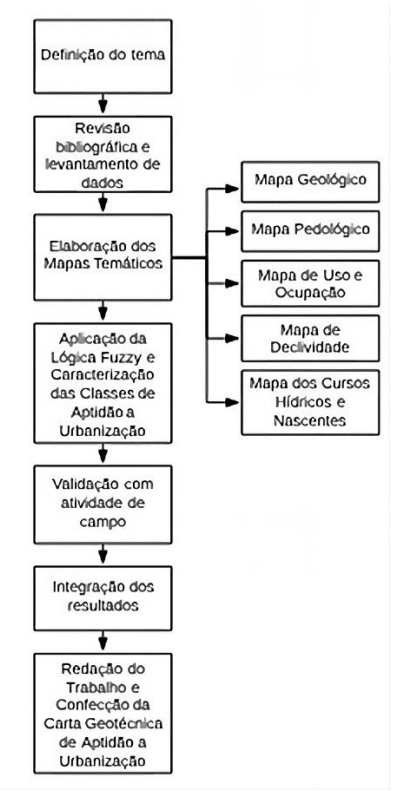
> a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;
>
> b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
>
> c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
>
> d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
>
> e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

Segundo o novo Código Florestal (2012), nascentes são definidas como afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água. Devido a isto, a sua área de preservação permanente, em qualquer situação topográfica, deve compreender um raio no mínimo de 50 metros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma presente na Figura 9 ilustra as principais etapas do desenvolvimento da pesquisa que serão descritas com maior detalhe em seguida.

Figura 9 - Fluxograma das principais etapas do trabalho



Fonte: elaborado pela autora

4.1 Revisão bibliográfica e levantamento de dados

Com o objetivo de se obter uma carta geotécnica de aptidão à urbanização que possa ser utilizada como base para planejamentos urbanos futuros do município de Rio Claro, buscou-se informações no banco de dados da prefeitura de Rio Claro que foram disponibilizados pela SEMADS (Secretária Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável). Os dados referentes à geologia, pedologia, expansão urbana, perímetro urbano, uso e ocupação, hidrografia e relevo foram disponibilizados em formato *shapefile* pela prefeitura com autorização prévia. Dados esses referentes ao projeto FEHIDRO, realizado em 2014.

4.2 Elaboração dos mapas temáticos

S*hapefile* é um formato de armazenamento de dados de vetor da *Esri* para armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas. Ele é armazenado como um conjunto de arquivos relacionados e contém uma classe de feição. Os *shapefiles* frequentemente contêm feições grandes com muitos dados associados e foram historicamente utilizados em aplicativos de *desktop GIS*, como o *ArcMap*. (ESRI, 2019). De posse dos *shapefiles* fornecidos da base de dados da prefeitura, foram gerados os mapas geológicos, pedológicos e de uso e ocupação do solo.

O mapa de declividade foi gerado a partir da reclassificação, ferramenta *r.reclass,* no qual foi inserido um arquivo de texto com as classificações determinadas pela Embrapa. Portanto, o relevo que apresentasse uma declividade de: 0 a 3% foi classificado como plano, 3 a 8% como suave-ondulado, 8 a 20% como ondulado, 20 a 45% como forte-ondulado, 45 a 75% como montanhoso, e acima de 75% como escarpado.

Os mapas relativos à hidrografia, como o de nascentes e cursos hídricos, utilizaram-se da ferramenta *buffer*, seguindo a distância definida pelo Código Florestal e suas alterações (Lei nº 12.651 e 12.727 de 2012) que determinam uma distância de 30 metros para os cursos d'água da margem do rio e 50 metros de distância para as nascentes que devem ser preservadas. *Buffer* é um geoprocesso indicado para feições de corredores. Para a elaboração dos mapas foi utilizado o software QGIS.

4.3 Aplicação da Lógica *Fuzzy* e caracterização das classes aptidão à urbanização

Para execução da Lógica *Fuzzy* foi necessária a transformação dos *shapefiles* para o formato *raster*, que foram posteriormente reclassificados de acordo com pesos preestabelecidos para cada atributo. Esses pesos foram definidos com base em materiais de revisão bibliográfica, características da área de estudo e legislação ambiental (Tabela 1).

Na distribuição dos pesos para cada atributo e classe foram considerados os valores próximos a 100 como aptos para a ocupação e valores próximos a 0 como não aptos para a ocupação. A atribuição dos pesos transformou informações espaciais qualitativas em informações numéricas, sendo esse procedimento necessário para aplicação da Lógica *Fuzzy*.

Tabela 1 - Pesos utilizados na Lógica *Fuzzy*

Atributo	Classe	Pesos
Declividade	>20%	50
	8-20%	80
	0-8%	90
Litologia	Depósitos Aluvionares	20
	Formação Rio Claro	40
	Formação Serra Geral	90
Pedologia	Argissolos	60
	Latossolos	80
	Neossolos	90
Uso e Ocupação	Mata Nativa/Reflorestamento	0
	Rios/Lagos	0
	Solo exposto/Agricultura/Pastagem	50
	Área urbana	90
Drenagem	Até 30 m da margem	0
	>30 m	100
Nascentes	Até 50 m da margem	0
	>50 m	100

Fonte: elaborada pela autora

Na escolha dos pesos para as classes foram considerados os seguintes pressupostos:

- Declividade: valores de declividade superiores a 20% apresentam restrições com relação ao desenvolvimento urbano devido, principalmente, à possibilidade de ocorrência de deslizamentos;
- Litologia: rochas maciças, mais homogêneas, com baixa porosidade primária e ausência de aquíferos fraturados são menos restritivas à ocupação (Formação Serra Geral). Rochas sedimentares com alta porosidade primária que abrigam aquíferos porosos com ampla distribuição da água subterrânea nos estratos sedimentares e maior potencial de contaminação são mais restritivas à ocupação (Formação Rio Claro).
- Uso e Ocupação: não pode haver ocupação de áreas preservadas;
- Pedologia: solos com presença de horizonte muito impermeável são mais restritivos à ocupação devido à menor capacidade de infiltração das águas

pluviais (Argissolo) do que solos com horizontes mais homogêneos e alta capacidade de infiltração que são mais favoráveis a ocupação urbana (Latossolos e Neossolos).

- Drenagem e nascentes: restrição à ocupação determinada pela legislação vigente (Lei nº 12.651 e 12.727 de 2012) que determina áreas para preservação aquelas com uma distância de 30 metros para os cursos d'água a partir da margem do rio e 50 metros de distância para as nascentes.

Para aplicação da Lógica *Fuzzy* foi escolhido o operador *AND*. Esse operador foi utilizado para analisar de forma integrada todas as informações temáticas obtidas por meio dos pesos, uma vez que os atributos utilizados (como o tipo de solo com o tipo litológico etc.), se relacionam.

4.4 Atividade de campo

Para validação da carta geotécnica gerada com a Lógica *Fuzzy*, foi realizado um dia de trabalho de campo (24 de outubro de 2023) para correlação visual das classes de aptidão à urbanização obtidas.

4.5 Integração dos resultados

A partir da integração dos resultados obtidos com os mapas temáticos, etapa de campo e da carta geotécnica gerada com a Lógica *Fuzzy,* foi possível estabelecer correlações e redigir as conclusões acerca da aptidão à urbanização do município de Rio Claro, principalmente em áreas de expansão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da integração dos resultados obtidos nas etapas anteriores, foi possível gerar a carta geotécnica de aptidão à urbanização por meio da Lógica *Fuzzy* com a sobreposição do perímetro urbano do município de Rio Claro (Figura 10) e realizar a sua caracterização, descritas a seguir.

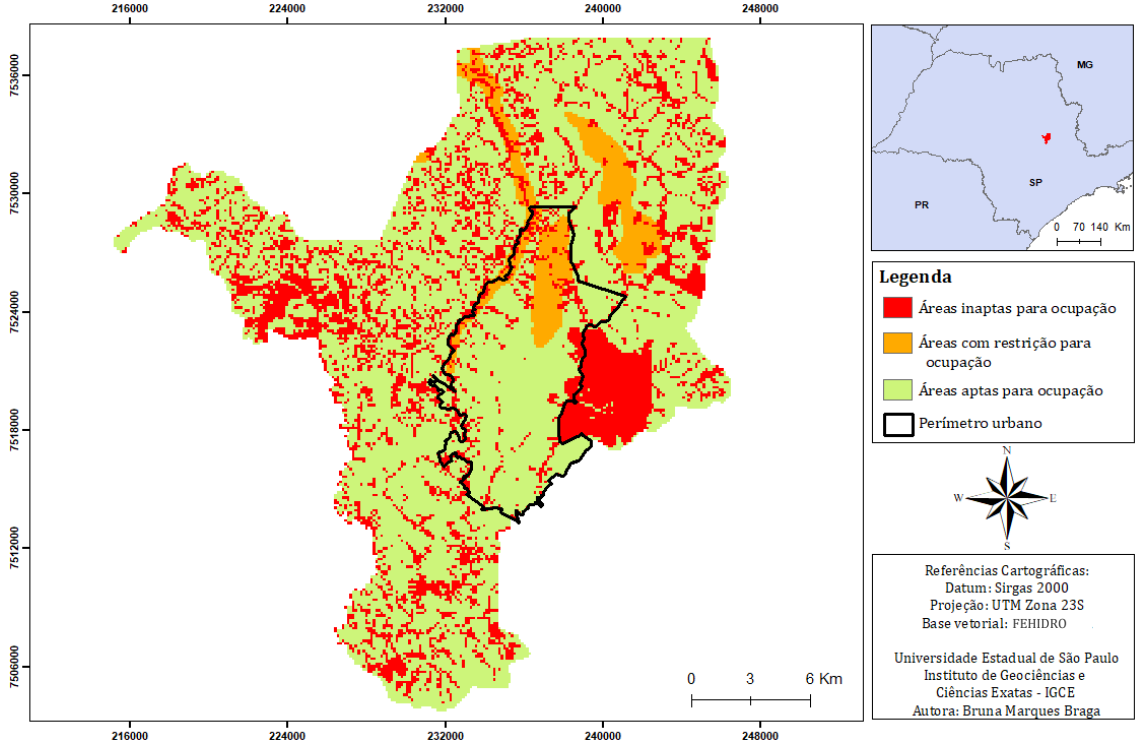
Foram identificadas três classes de aptidão à urbanização, sendo as classificadas na cor verde aptas para ocupação, na cor laranja áreas com restrição para ocupação e na cor vermelha áreas não aptas para ocupação.

A classe de áreas aptas à urbanização se caracteriza pela presença predominante de substrato geológico composto por rochas maciças, homogêneas e com baixa porosidade. Solos com horizontes mais homogêneos e com alta capacidade de infiltração estão presentes dentro desta classe, assim como declividades de até 20% de inclinação que oferecem baixo risco a acontecimentos ambientais, como os deslizamentos.

A classe de áreas com restrição à urbanização está em locais de ocorrência rochas sedimentares com porosidade elevada e vasta distribuição da água subterrânea, que tornam o ambiente mais propenso à contaminação por meio da introdução de contaminantes no solo. Estão constituídas declividades acima de 20%, propensos a maiores eventos naturais (deslizamentos), e solos com horizontes mais argilosos que impedem a infiltração das águas pluviais e promovem a saturação da superfície, podendo resultar em processos erosivos do solo e surgimento de ravinas.

A classe de áreas inaptas à ocupação difere das demais devido a localização em áreas de várzea, sob efeito de alagamentos, com solos moles que apresentam baixa resistência mecânica, podendo sofrer colapso sob ação de cargas aplicadas. São áreas com presença de vegetação nativa e áreas de preservação permanente protegidas pela lei 12.651 de 2012.

Figura 10 - Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município de Rio Claro - SP

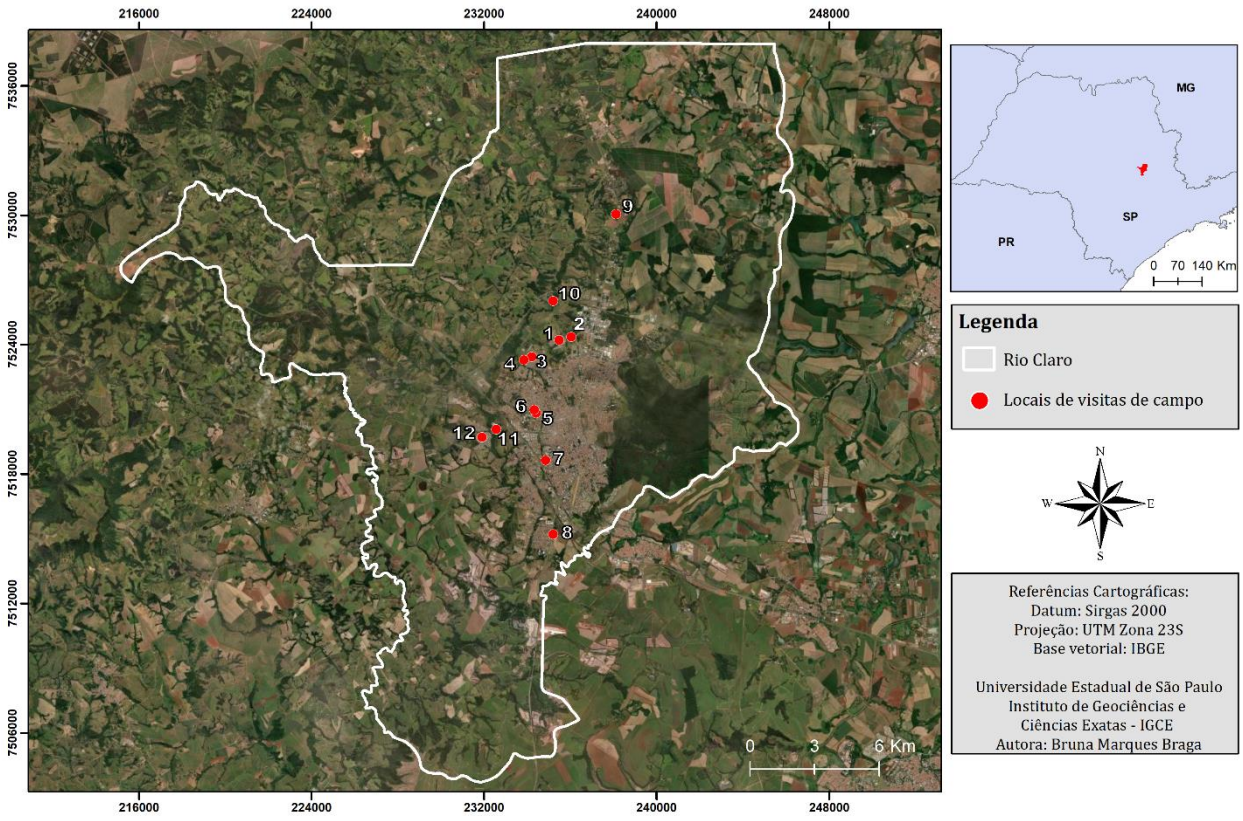


Classe	Caracterização das unidades	Problemas existentes ou esperados	Soluções e precauções
I - Áreas inaptas para ocupação	Áreas de preservação permanente de rios (< 30 m) e nascentes (< 50m) estabelecidas pela lei 12.651/12. Ocorrência de fragmentos de mata nativa. Depósitos aluvionares	Contaminação de nascentes e águas superficiais por atividades associadas à urbanização. Enchentes fluviais. Solo mole de baixa capacidade de carga e suscetivel a saturação	Remoção de ocupações marginais a cursos hídricos. Recuperação da vegetação nativa e APP. Restrição parcial a urbanização. Áreas indicadas para parques ecológicos
II - Áreas com restrição para ocupação	Litologia composta por rochas sedimentares ou formação Serra Geral. Declividade acima de 20%. Predominância de argissolos.	Alta suscetibilidade a erosão do solo em áreas com declividade acentuada. Possivel formação de fluxo superficial. Possibilidade de ocorrência de escorregamentos naturais ou induzidos	Áreas não edificadas devem possuir cobertura vegetal. Implementação de sistemas de drenagem. Controle de erosão. Estudos geotécnicos de estabilidade das encostas.
III - Áreas aptas para ocupação	Áreas com declividade inferior a 20%. Substrato geológico maciço predominantemente constituido por rochas da Formação Serra Geral. Latossolos e neossolos.	Erosão do solo associado a áreas com maior declividade e ao tipo de manejo do solo. Possibilidade de inundações em áreas mais planas de baixa infiltração no solo.	Manter áreas não edificadas com cobertura vegetal, com a finalidade de aumentar a infiltração. Sistemas de drenagem para evitar inundações e alagamentos.

Fonte: elaborada pela autora

Para obter resultados mais precisos, foram realizadas visitas de campo em locais previamente designados dentro do perímetro urbano, incluindo a zona de expansão urbana. Dentro da área do perímetro urbano, foram selecionados oito pontos para conduzir investigações *in loco* e capturar fotografias dos locais, a fim de obter uma compreensão mais detalhada da classe de aptidão em cada um deles. Para melhor visualização dos locais visitados em campo dentro do município de Rio Claro, foi elaborado um mapa de localização (Figura 11).

Figura 11 – Mapa de Localização dos locais de visita em campo



Fonte: elaborado pela autora

Na Figura 12, foram estabelecidos dois pontos para melhor visualização da área. Estes são empreendimentos residenciais recentes que se encontram em diferentes estágios de operação. Os condomínios residenciais referidos como ponto 1 estão localizados em uma área considerada apta para ocupação, isto ocorre devido a apresentarem uma baixa declividade, solos com alta capacidade de infiltração (latossolos) e seu distanciamento com os corpos d'água, o que minimiza riscos de desastres naturais. Já o ponto 2, foi estabelecido devido ao seu questionamento em

campo da proximidade com o corpo d’água, porém ao sobrepor sua localização verificou-se também que se trata de uma área apta para ocupação. Contudo, apesar dessa classificação, o melhor procedimento para utilização dessa área seria a realização de ensaios e modelos para determinar que este local não apresentaria nenhum risco para a população.

O loteamento identificado na Figura 13, a princípio, possui apenas um ponto de identificação, o ponto 3, localizado em uma área apta para ocupação devido à presença de horizontes mais homogêneos, rochas com menor porosidade e uma declividade que não apresenta riscos para seu uso. No entanto, devido ao tamanho do loteamento e a identificação de um corpo d'água nas proximidades, foi adicionado o ponto 4 por meio do software Google Earth Pro. Este novo ponto se revelou em uma área inapta para ocupação, por causa da sua proximidade ao córrego com pouca diferença de elevação, o que pode ocasionar a inundação dos lotes encontrados nesta área. Além disso, os solos podem apresentar baixa resistência mecânica, aumentando a possibilidade de colapsos. Uma alternativa para se evitar a ocorrência de danos às futuras moradias seria a realização de áreas não habitadas, como parques recreativos e praças nos lotes mais próximos ao curso hídrico.

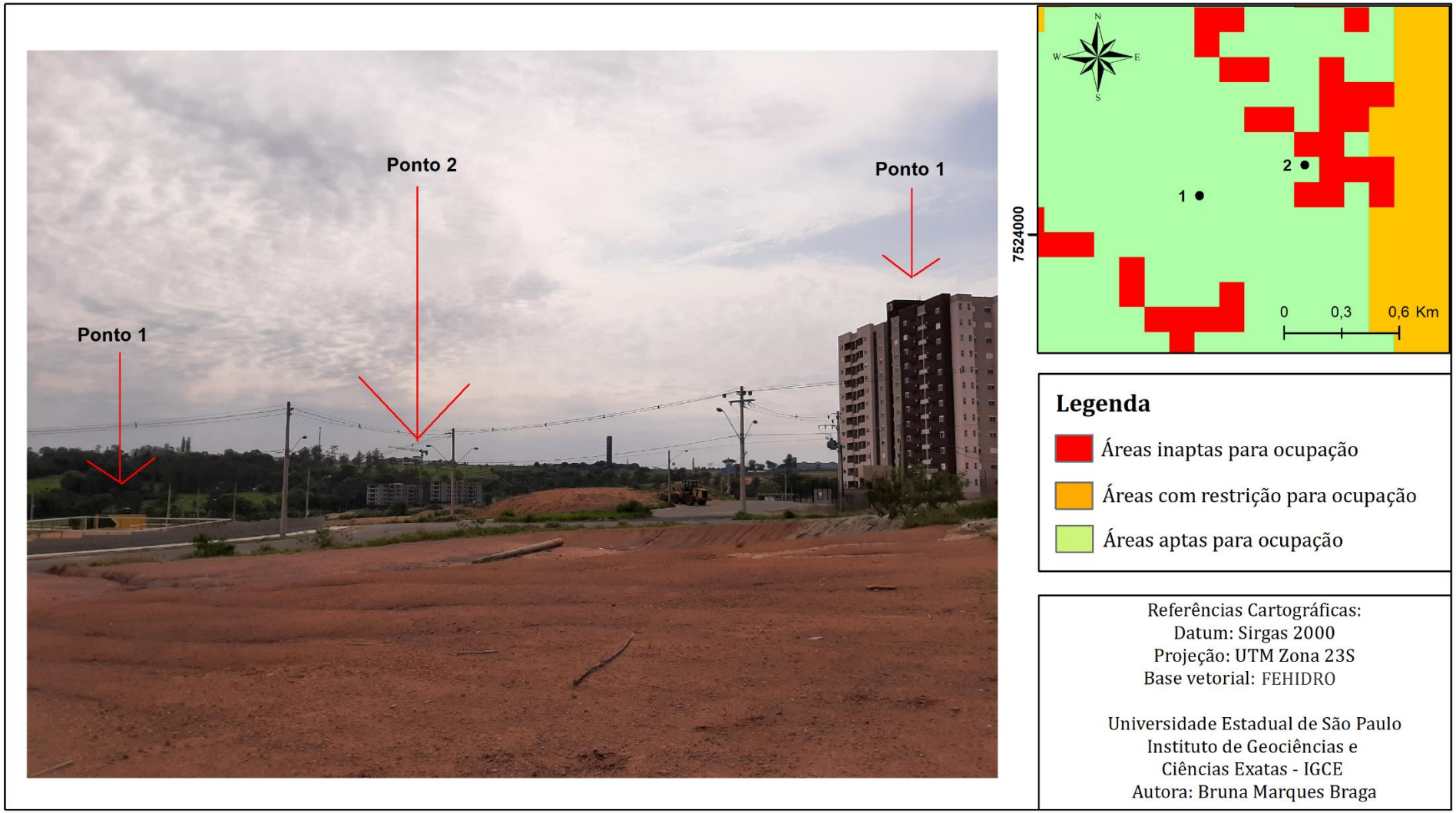
A Figura 14 apresenta dois pontos em área inapta para ocupação. Este local foi determinado com base nas ocorrências frequentes de alagamentos nesta região, conforme mencionado no estudo de Soares (2018). Os pontos 5 e 6 correspondem às áreas de várzea do córrego da servidão, situados em uma região urbanizada onde é visível o descarte irregular de resíduos e a presença de animais. Isso é resultado da ausência de um cercamento abrangente da área, que contribui para a poluição das águas superficiais. A topografia plana, aliada à proximidade com o corpo d'água, permitiu observar durante a visita de campo a marca de umidade deixada nos muros das residências após o alagamento dessas áreas.

A placa de aviso de ocorrência de alagamento, localizada na Avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves e identificada na Figura 15, revelou-se em área apta para sua utilização, um fator inesperado, porém com possíveis justificativas. Esta avenida foi construída sobre o córrego da Servidão, que se encontra completamente canalizado, o que ocasionou a ausência de dados sobre o curso do córrego nos registros disponibilizados pela prefeitura. Além disso, a região é caracterizada por sua topografia plana, o que a torna propícia para urbanização, levando o *software* a interpretá-la como uma área sem restrições para ocupação. Um

fator adicional é que a metodologia empregada não consegue identificar as áreas propensas a alagamentos, que apresentam características como relevo plano, impermeabilização do solo e um sistema de drenagem ineficaz.

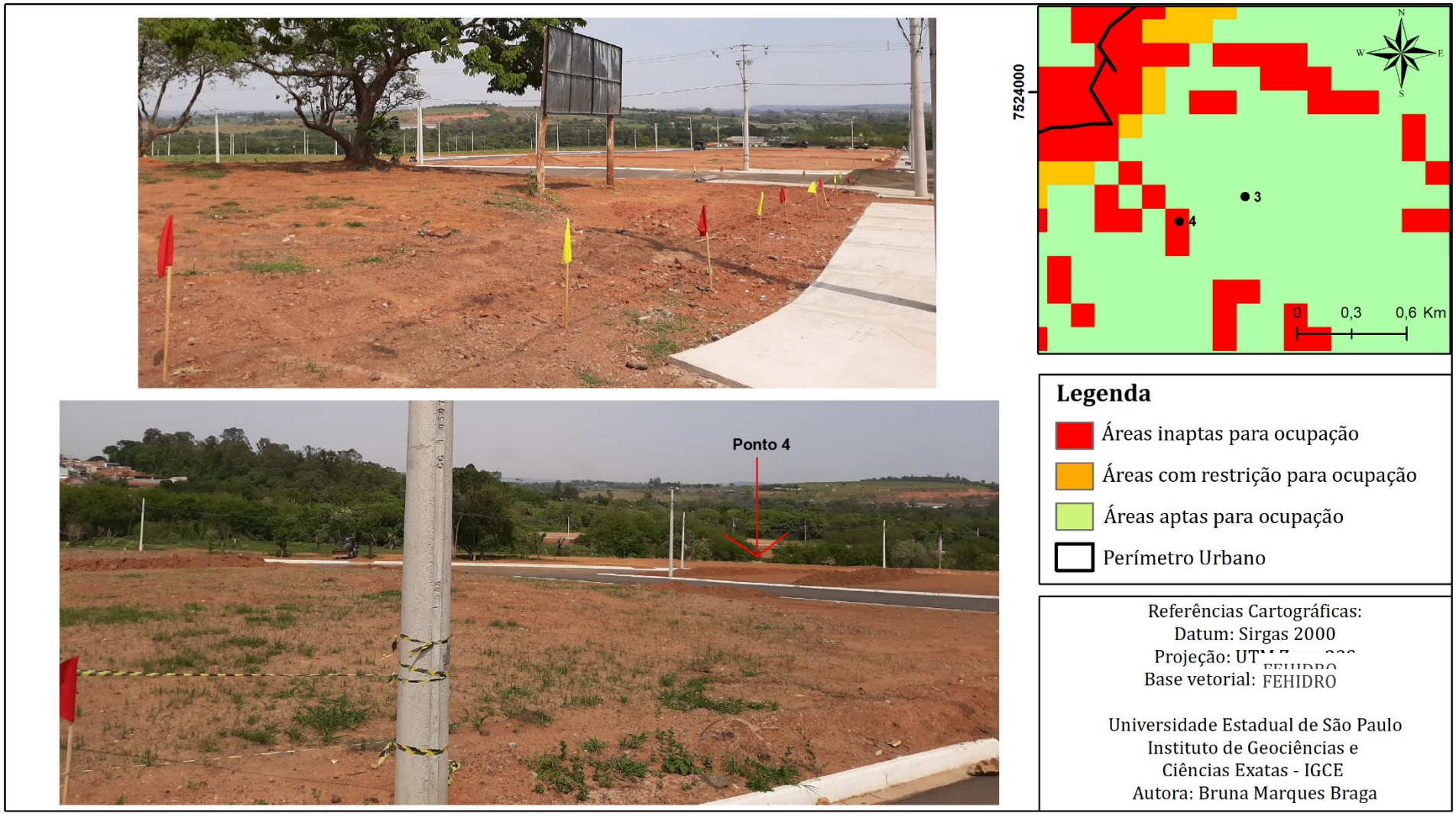
O novo condomínio fechado, identificado na Figura 16, está localizado em uma zona considerada apropriada para urbanização, devido à sua baixa inclinação, solos com boa capacidade de infiltração e distância de corpos d'água. É interessante observar como o município de Rio Claro está expandindo sua urbanização em direção a áreas anteriormente destinadas à agricultura de cana-de-açúcar, como pode ser observado ao fundo da imagem, destacando assim a mudança no uso e ocupação do solo.

Figura 12 - Empreendimentos residenciais novos no bairro do Sobradão



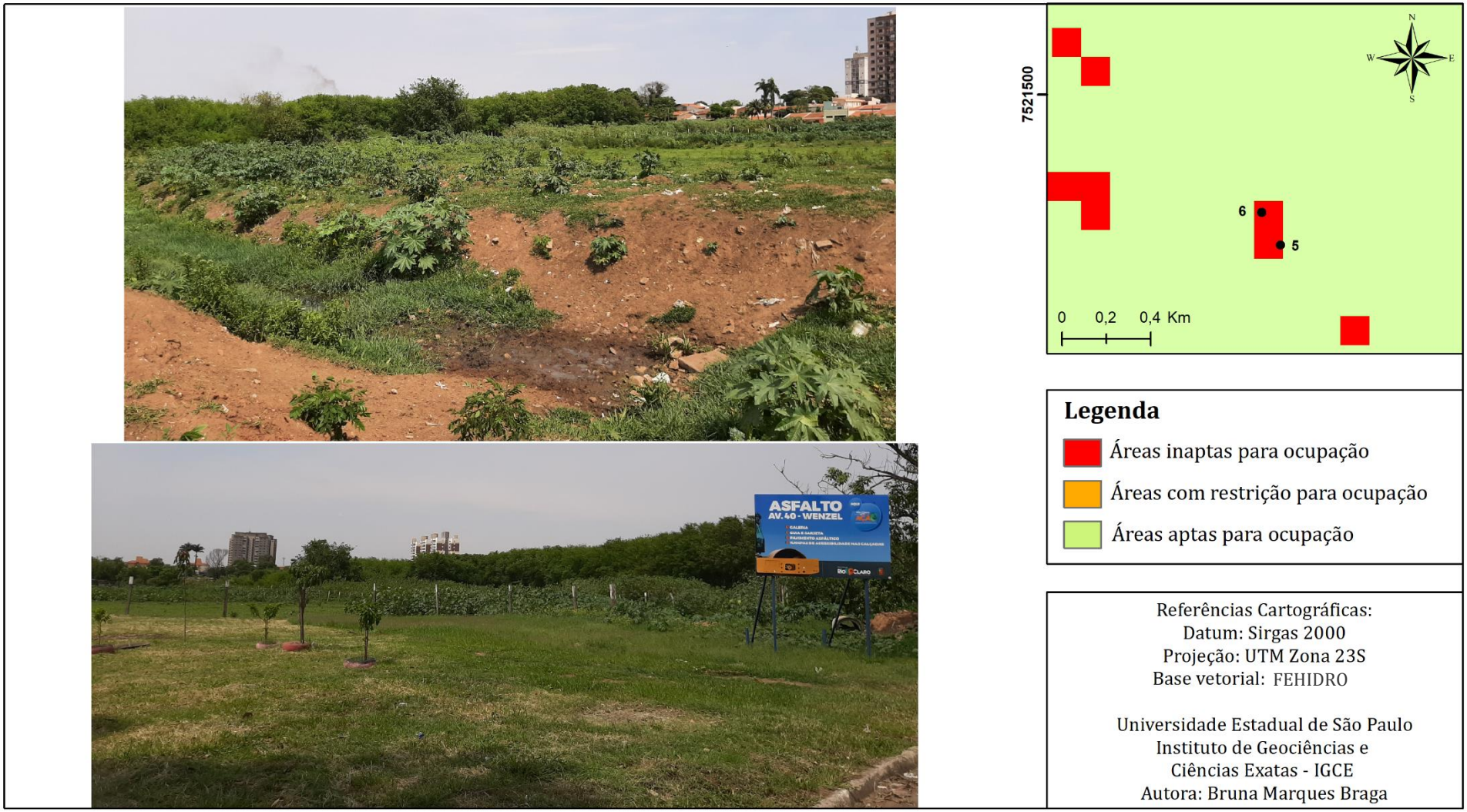
Fonte: elaborado pela autora

Figura 13 – Novo loteamento Recanto das Flores



Fonte: elaborado pela autora

Figura 14 – Área de várzea no bairro Jardim Bela Vista



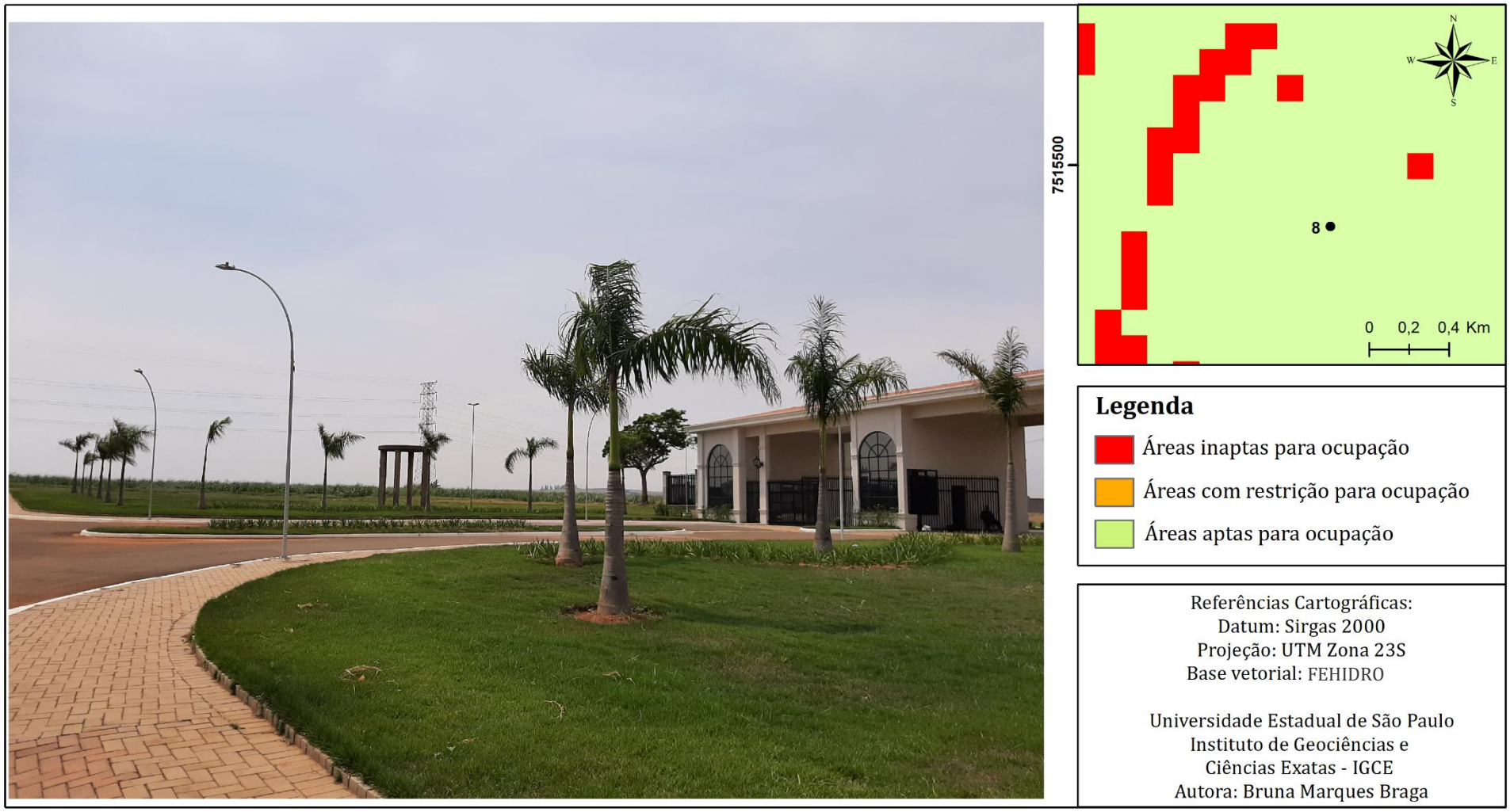
Fonte: elaborado pela autora

Figura 15 – Placa de alagamento na Av. Pres. Tancredo de Almeida Neves



Fonte: elaborado pela autora

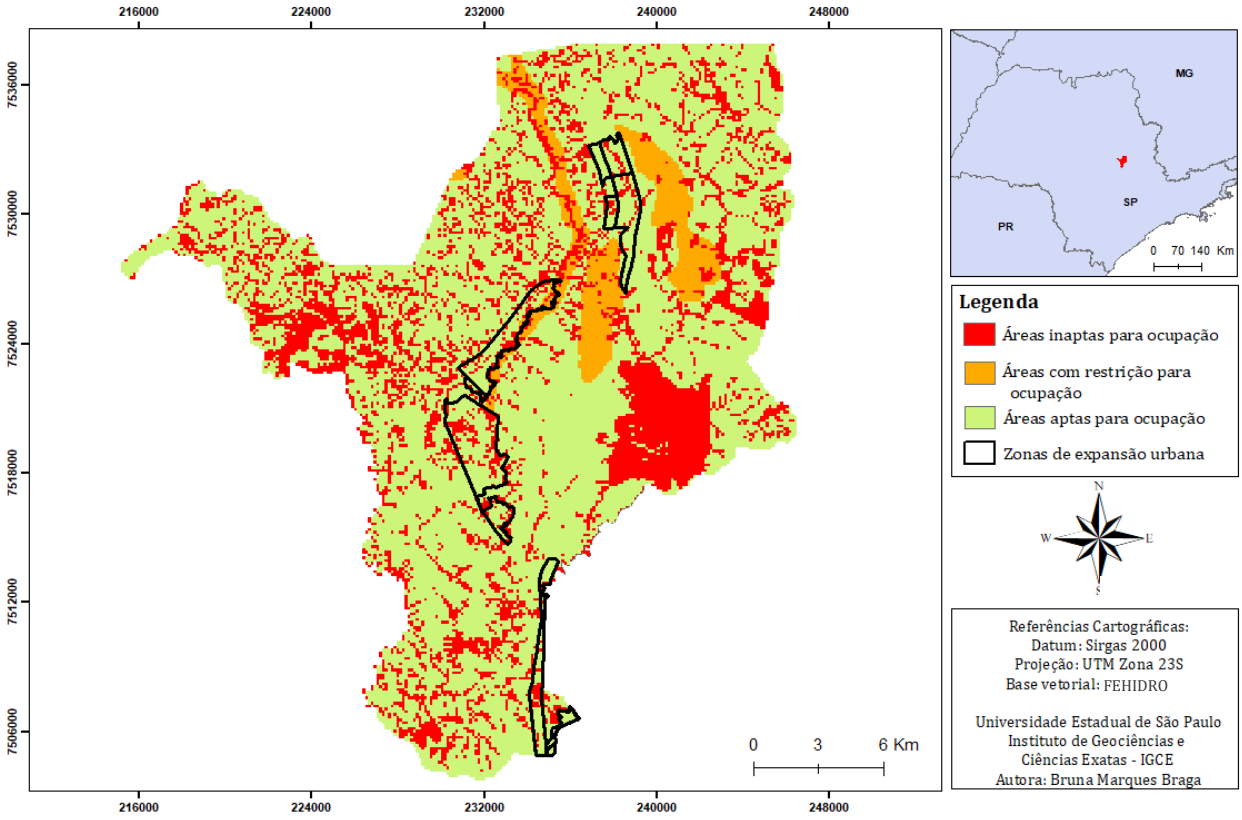
Figura 16 – Novo loteamento fechado próximo à Rodovia Fausto Santo Mauro



Fonte: elaborado pela autora

Outro produto elaborado pelo presente estudo foi o mapa de aptidão à urbanização por meio da Lógica *Fuzzy* com a sobreposição da expansão urbana, dado também disponibilizado pela SEMADS, no qual pode-se notar através da Figura 17 que dentro deste perímetro há diversos locais considerados como áreas inaptas para ocupação, um fator preocupante para um município que já enfrenta áreas com erosões, inundações e alagamentos.

Figura 17 – Mapa de Aptidão à Urbanização do município de Rio Claro - SP com a expansão urbana



Fonte: elaborado pela autora

Como já dito anteriormente, também foram realizadas visitas a campo nas zonas determinadas como expansão urbana a fim de estabelecer melhor detalhamento dos resultados obtidos.

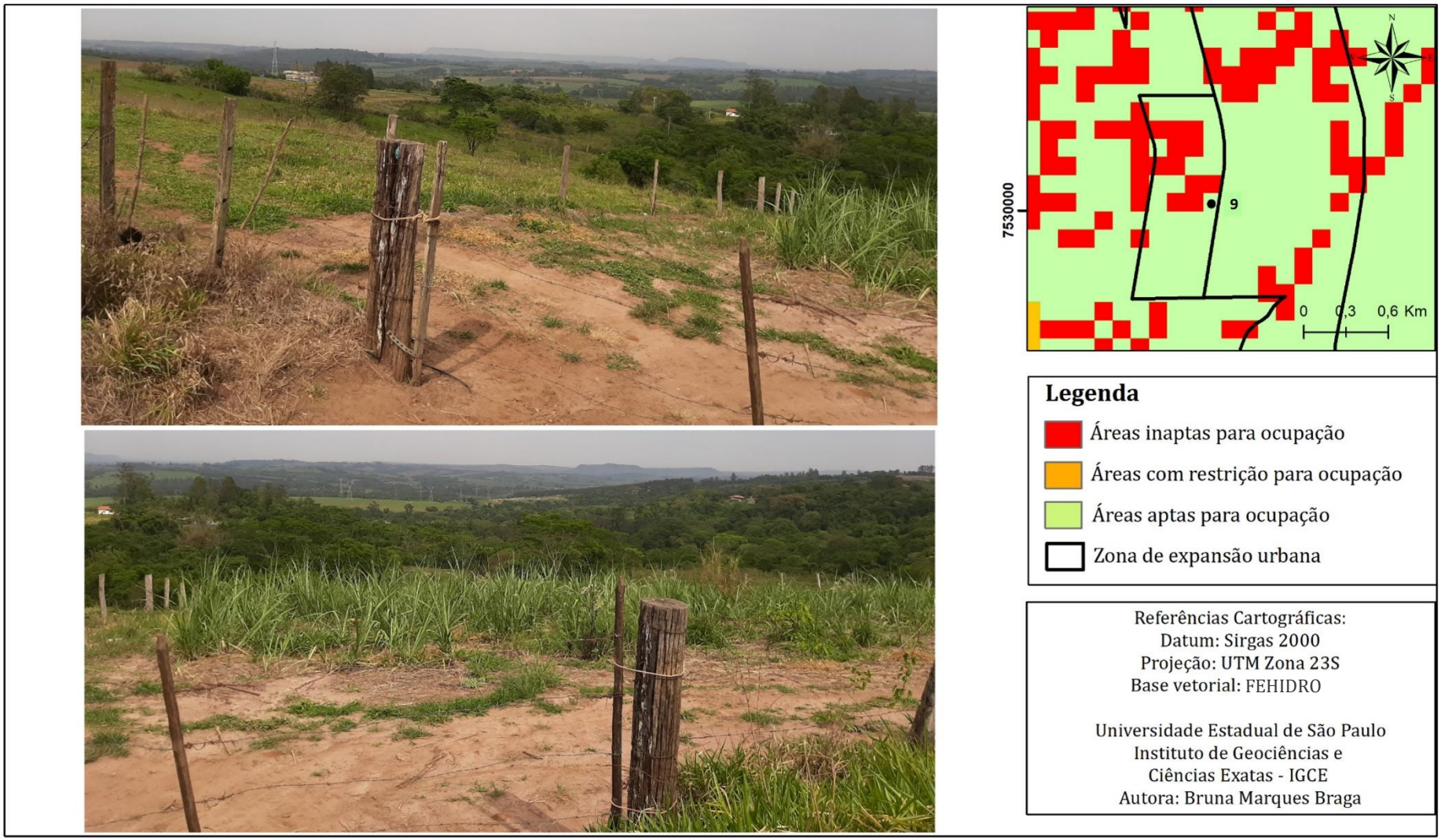
Na Figura 18, pode-se notar que a área está localizada em uma região considerada apropriada para ocupação, devido à sua inclinação não ultrapassar os 20%. Isso é claramente visível nas fotografias capturadas, nas quais as áreas com menor inclinação são consideradas adequadas para urbanização, enquanto aquelas

com inclinações mais acentuadas, como mostrado na segunda fotografia, são consideradas inadequadas devido ao alto risco de desastres naturais, como deslizamentos. Ressalta-se, no entanto, que próximo ao ponto 9 da Figura 16, ocorrem áreas consideradas inaptas à ocupação, devido à proximidade com corpos hídricos e aos vales, que são presentes.

A área de várzea identificada na Figura 19 está localizada na interseção entre uma região considerada inadequada para ocupação e outra sujeita a restrições. Isso ocorre devido à sua proximidade com o rio Corumbataí, tornando-a suscetível a inundações devido à sua topografia plana. Outros fatores que contribuem para essa classificação incluem solos moles com alta concentração de argila, o que dificulta o escoamento vertical e resulta na saturação da superfície. Embora não haja construções ou atividades aparentes nesta área no momento, trata-se de um possível ponto de expansão urbana do município.

A Figura 20 abrange dois pontos de observação. O ponto 11 está localizado na Estrada de Ipeúna, sobre o rio Corumbataí, uma região descrita por Soares (2018) como altamente vulnerável, sofrendo com os problemas de inundação que impactam o tráfego de veículos e pessoas, e constatado através do presente trabalho como uma área inadequada para ocupação. Por outro lado, o ponto 12 foi identificado por meio do *software Google Earth Pro* e está situado no meio do bairro Novo Jardim Wenzel, identificado como uma área apropriada para ocupação devido às suas características geomorfológicas, geológicas e pedológicas. No entanto, para garantir a segurança da população, seria recomendável determinar pontos para visitas em diversas áreas deste bairro, com vistas a prevenir possíveis desastres.

Figura 18 – Área de expansão urbana com foco industrial na Av. Brasil



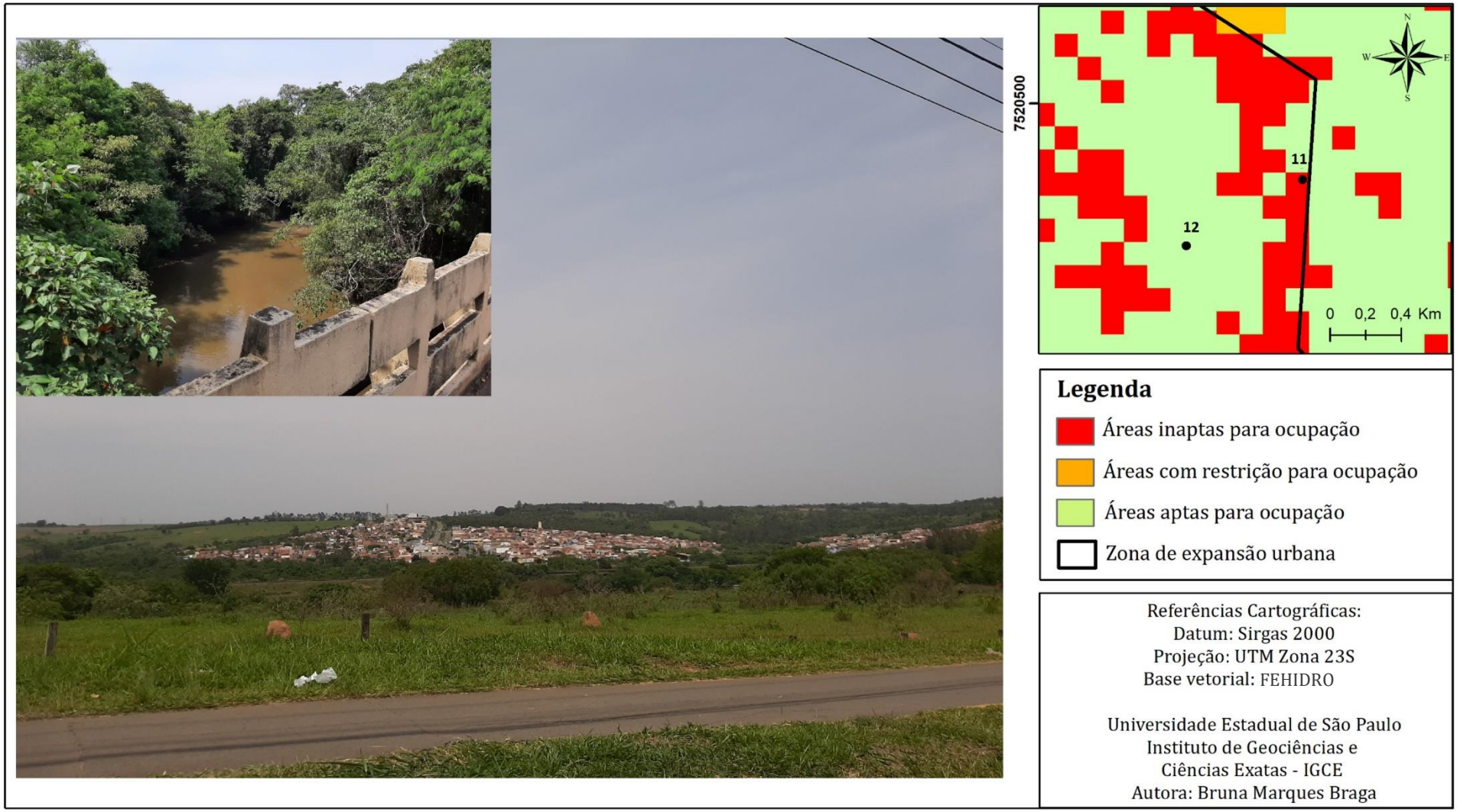
Fonte: elaborado pela autora

Figura 19 – Área de várzea na Estr. Mun. Do Sobradão



Fonte: elaborado pela autora

Figura 20 – Bairro Novo Jardim Wenzel



Fonte: elaborado pela autora

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível a realização das etapas propostas na pesquisa, que culminaram na elaboração de uma carta geotécnica de aptidão à urbanização, documento este que representa um recurso valioso para embasar o planejamento da expansão urbana do município de Rio Claro. A abordagem metodológica adotada, que combinou a Lógica *Fuzzy* com a realização de visitas in loco, demonstrou sua eficácia, e resultou em um guia de fácil interpretação e acesso para o uso e desenvolvimento urbano. Ressalta-se, no entanto, a defasagem no banco de dados disponível na prefeitura do município sobre o uso e ocupação do solo, uma vez que as últimas informações de levantamentos são de ano de 2014. A escala de mapeamento fornecida pelo banco de dados também deve ser aprimorada em trabalhos futuros, com a finalidade de obter maiores níveis de detalhe, principalmente acerca de parâmetros de uso e ocupação e tipos de solo.

Apesar da carta de aptidão gerada pela Lógica *Fuzzy* ser suficiente para direcionar de forma ampla a ocupação, a importância das visitas de campo como procedimento adicional foi evidenciada, especialmente para verificar os atributos específicos da paisagem que não são possíveis através de imagens de satélite. Outro fator importante para estruturação dos dados obtidos pela carta de aptidão e visitas in loco são ações conjuntas com a Defesa Civil para rastreamento das áreas que apresentem riscos de alagamentos.

Com o objetivo de orientar um crescimento mais adequado e estruturado, mitigando impactos negativos dentro do perímetro urbano, é previsto que a carta de aptidão urbana possa subsidiar políticas públicas de expansão do município de Rio Claro. Logo, para a elaboração do Plano Diretor, orientação para futuras ocupações e no âmbito da pesquisa, a carta de aptidão à urbanização se torna uma ferramenta fundamental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, Anderson LH; DE SOUSA, Joyce Lima; PROCHNOW, Carlos AC. **Análise da variabilidade da precipitação, temperatura e umidade relativa mensal no período de 1991 a 2002, na área urbana de Rio Claro**. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005 Disponível em: http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Ecologia/03.pdf.

CORDANI, U.G; VANDOROS, P. **Basaltics rocks of the Paraná Basin: Problems in Brazilian gondwana geology**. Plate LXXVIII, CNPq, Boletim Paranaense de Geografia. Curitiba, v.21(22): 207-231, 1967.

CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.; BRAGA, R. **Diagnóstico dos elementos de drenagem da área urbana de Rio Claro-SP: subsídios para o plano diretor**. Revista de Estudos Ambientais, v. 11, n. 2, p. 88-100, 2010.

DINIZ, Nóris Costa; FREITAS, Carlos Geraldo L. (coord.) Cartografia geotécnica. In: COUTINHO, R.Q. (coord. geral e org.) **Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Brasília, Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. 2013. Cap.7, 39p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, p. 27.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos et al. – 5. ed., rev. e ampl. − Brasília, DF, 2018. 356 p.

ESCADA, Maria Isabel Sobral. **Aplicação de Técnica Fuzzy em SIG como alternativa para o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE)**. São José dos Campos, 1998. 26 p Trabalho de Disciplina - INPE. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/Trabalhos/isabel_zeefuzzy.pdf. Acesso em: 12 out. 2023.

EVANS, I. S. **Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?**. Geomorphology, 2012. 137(1), 94-106.

FILHO, I.B.O.; Sobreira, F.G.; **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização em Ambiente Cárstico - Lapão - BA**. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015.

FORNAZIEIRO, Marcos Paulo Almeida. **Qualidade ambiental urbana: proposta de um índice para a cidade de Rio Claro/SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/202353.

GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.

GUSMÃO Filho, J. D. A. **Solos Da Formação Geológica ao Uso na Engenharia**. Editora Universitária UFPE, 2002.

HIGASHI, R.A.R. 2006. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de Doutorado, 398p.

IBGE. **XIX Campanha estatística : produção extrativa : informações relativas ao ano de 1954 : Q-1.04.** São Paulo: Mercator, 19--. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=448610&view=detalhes. Acesso em: 19 out. 2023.

IBGE. **Sudeste concentra mais de um terço das áreas urbanizadas do país.** Agência IBGE Notícias. 2022. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35585-sudeste-concentra-mais-de-um-terco-das-areas-urbanizadas-do-pais. Acesso em: 10 out. 2023.

ISHIKAWA, A. K. **Carta geológico-geotécnica aplicada ao planejamento urbano da região do Córrego Bertini, município de Americana-SP**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho: Rio Claro. 55p, 2009.

JOHANN, Cristiane Carla; LINDINO, Terezinha Corrêa**. Expansão Territorial Urbana na Cidade de Marechal Cândido Rondor - PR e seus Impactos**. Sustentare. 2018, v. 2, n. 1, 83 p. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5892/st.v2i1.4935. Acesso em: 3 nov. 2023.

MILANI, E.J. **Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Neves, B.B.B. (Eds.). Geologia do continente sul-americano - evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Brasil: Beca, 2005. p.257-279.

NOGUEIRA, Fernando et al. **O Emprego da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização: debate sobre o licenciamento do centro logístico campo grande, santo andré, sp** / the use of the geotechnical charter of suitability for urbanization. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 73741-73762, 2020. Brazilian Journal of Development. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-725.

OLIVEIRA FILHO, Ivan Bispo de et al. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização: Castelo**, ES. 2022.

PENTEADO, M. M. **Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro-SP**. Notícia geomorfologia, Campinas, v. 21, p. 23-56, 1981.

PEREIRA, Gabrielle Alberta et al. **Lógica Fuzzy Aplicada a Elaboração de Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização da Área de Expansão da UNICAMP - Campinas, SP**. Revista Geociências, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 1137-1145, fev. 2022. Disponível em: https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/15478. Acesso em: 10 out. 2023.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, M. F. **Evolução de Paisagens no Decorrer do Tempo em Rio Claro,SP**. In Zaine, M.F.; Perinotto, J.A.J. Patrimônios Naturais e História Geológica de Rio Claro – SP. Ed. Câmara Municipal de Rio Claro e Arquivo Público e Histórico do Mun. De Rio Claro, 1996, p. 71-91.

RIO CLARO, Prefeitura Municipal de. **Diagnóstico Ambiental e Desenvolvimento de Sistemas de Implementações de Projetos de Recuperação da Qualidade Dos Corpos D'água**. Rio Claro, 2014. Disponível em: https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeIIISolo.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

ROSSETTI, LUCIMARI APARECIDA FRANCO GARCIA. **Geotecnologias Aplicadas à Caracterização e Mapeamento das Alterações da Cobertura Vegetal Intra-Urbana e da Expansão Urbana da Cidade de Rio Claro (SP).** Rio Claro, 2007. 115 p Dissertação - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO.

RUHOFF, Anderson Luis et al. **Lógica Fuzzy e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2355-2362. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.21.33/doc/2355.pdf

SILVA, A. P. M. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, utilizando SIG**. Itajubá, MG. UNIFEI. Engenharia da Energia. 2006.

SOARES, Carlo Junqueira Margotto. **Zoneamento de Áreas Vulneráveis a Inundação e Alagamento em Rio Claro – SP pelo Método AHP**. Rio Claro , f. 59, 2018. 68 p Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO.

SOBREIRA, G. F.; Souza, L. A. (2012) **Cartografia Geotécnica Aplicada ao Planejamento Urbano.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, v. 2, n. 2, p. 79-98.

TROPPMAIR, H. **Rio Claro: ontem e hoje**. Secretaria Municipal de Educação, p. 105, 2008.

UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). **Elaboração de Cartas Geotécnicas e Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais no Município de São José, estado de Santa Catarina.** São José: Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos, [20--].

ZADEH, L.A & JAMSHIDI. **Aplications of Fuzzy Logic:** Towards High Machine Inteligence Quotient Systems. Series on Environmental and Intelligent Manufacturing. Prentice Hall. 423 p. 1997

ZUQUETTE, L. V.; Gandolfi, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: oficina de Textos, 2004.